

- 1 -

Detektormodul für Röntgendetektorsystem

Die Erfindung betrifft allgemein ein Detektormodul für ein Röntgendetektorsystem zur Verwendung bei Röntgenholographie und Röntgenspektroskopie mit atomarer Auflösung sowie ein modular aufgebautes Röntgendetektorsystem für obige Anwendungen, bei dem solche Detektormodule Verwendung finden.

Seit der Erfindung der Holographie im Jahre 1948 wird an der räumlichen Darstellung atomarer Strukturen nach dem Holographie-Prinzip gearbeitet. Ein mögliches Lösungsprinzip basiert auf der Technik der Röntgen-Holographie.

Bei der Röntgen-Holographie werden Atome in einer zu untersuchenden Materialprobe zur Fluoreszenz angeregt, und die Fluoreszenzstrahlung, die von der Materialprobe ausgeht, wird von einem Detektor erfaßt. Die elektrischen Ausgangssignale des

- 2 -

Detektors, die das sich aufbauende Interferenzfeld innerhalb der Materialprobe widerspiegeln, geben dann Aufschluß über die räumliche Struktur des untersuchten Proben-Materials. Hierzu ist es allerdings erforderlich, daß an der Materialprobe eine möglichst große Anzahl von Messungen durchgeführt wird.

In den vergangenen Jahren wurden deutliche Fortschritte bei der Entwicklung und Fertigung von Röntgendetektoren erzielt, die die Fluoreszenzstrahlung der Materialprobe aufnehmen und diese zuverlässig von der vielfältigen Hintergrundstrahlung trennen sollen. Diese Detektoren müssen einerseits energieempfindlich sein, um eine Unterscheidung der einfallenden Photonen nach ihrer Energie bzw. der Wellenlänge der Strahlung zu ermöglichen, andererseits aber den Betrieb bis zu so hohen Zählraten ermöglichen, daß sie einige hunderttausend Photonen pro Sekunde aufnehmen. Für diesen Zweck wurden in der Vergangenheit neben Silizium-Detektoren zumeist Germanium-Detektoren verwendet. Letztere müssen jedoch mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden, was relativ aufwendig ist, und sind bevorzugt zur Strahlungserfassung ab etwa 10 keV geeignet. Ein weiterer Nachteil bei der Verwendung von Germanium-Detektoren besteht darin, daß die Elektronik zum Verstärken der von dem Germanium-Detektor ausgehenden Meßsignale nur an einer Stelle angeordnet werden kann, die von dem Germanium-Detektor relativ weit entfernt ist. Deshalb sind zur Kopplung des Germanium-Detektors mit der Verstärker-Elektronik lange Verbindungsleitungen erforderlich, was zu starken Störungen und zu einer hohen Fehleranfälligkeit führt. Eine Integration von Vorverstärkerstufen in der Nähe des Germanium-Detektors ist bisher nicht zufriedenstellend gelungen, wobei die aufwendige Kühlung des Germanium-Detektors ein wesentliches Hindernis darstellt. Außerdem muß bei einer Integration der Verstärker-Elektronik in der Nähe der Germanium-Detektoren eine größere Anzahl von Signalleitungen von dem Germanium-Detektor bzw. von der Verstärker-Elektronik weggeführt werden, was sich selbst bei kleineren Detektor-Zeilen oder Detektor-Arrays als ein nicht zu lösendes Hindernis dargestellt hat.

- 3 -

In der jüngsten Vergangenheit wurden auch bei der Entwicklung und Fertigung von orts- und energieauflösenden Silizium-Röntgendetektoren Fortschritte erzielt. So gelang beispielsweise die monolithische Integration hochempfindlicher Driftdetektoren mit Feldeffekttransistoren auf der Basis hochohmiger Siliziumsubstrate. Dieser Detektortyp wurde als einzelliger Detektor bereits auf dem Gebiet der Röntgen-Holographie genutzt.

Wie vorstehend erwähnt, ist es für die Röntgen-Holographie erforderlich, daß eine möglichst große Anzahl von Messungen der Materialprobe durchführt wird. In einem der möglichen konkreten Meßverfahren (Meßverfahren 1) bedeutet das, daß oberhalb der Materialprobe über dem Raumwinkelbereich einer Halbkugel oberhalb der Materialprobe mit einer Winkelauflösung im Grad-Bereich eine große Anzahl von Messungen der Fluoreszenzstrahlung der Probe durchgeführt wird. Bei diesen Messungen ist es bei der Verwendung von einzelligen Detektoren notwendig, den Detektor mittels einer mechanisch aufwendigen und teuren Verfahren-Konstruktion schrittweise entlang verschiedener Bahnen auf der halbkugelförmigen Fläche oberhalb der Materialprobe zu verlagern. Um die charakteristischen Linien innerhalb des Spektrums mit der erforderlichen Genauigkeit nachweisen zu können, sind zum Beispiel etwa $2 \cdot 10^6$ Einträge pro Raumwinkelelement notwendig. Bis zu einer Ereignisrate von etwa 150 kHz lassen sich die Linien ohne größere Beeinträchtigung ihrer Breite bestimmen. Da für ein vollständiges Hologramm zum Beispiel 7200 Aufnahmen unter verschiedenen Raumwinkeln notwendig sein können, ergibt sich eine Gesamt-Meßzeit von etwa 24 Stunden.

In einem zweiten konkreten Meßverfahren (Meßverfahren 2) der Röntgen-Holographie wird die nötige Winkelauflösung durch verschiedene Einfallswinkel von monochromatischem Röntgenlicht erreicht. Eine Winkelauflösung der Fluoreszenzstrahlung der Probe und damit ein Verfahren des Detektors ist dabei nicht erforderlich. Aufgrund der oben erwähnten Ereignisraten-

Limitierung von einzelligen Detektoren ergibt sich dieselbe Gesamt-Meßzeit.

Es ist möglich, die lange Gesamt-Meßzeit zu verkürzen, indem
5 statt eines einzelligen Detektors mehrzellige Detektoren verwendet werden. Durch gleichzeitige Messung verschiedener Winkelbereiche (Meßverfahren 1) bzw. der bei mehrzelligen Detektoren entsprechend vervielfachten Ereignisrate (Meßverfahren 2) vermindert sich die Gesamt-Meßzeit um etwa den Faktor der Zahl
10 der Detektorelemente. Aufgrund der limitierten Zahl von Zellen bzw. Elementen erübrigen alle kommerziellen mehrzelligen Germanium-Detektoren weder aufwendige Verfahrenskonstruktionen im Meßverfahren 1, noch ermöglichen sie nur eine Meßzeitreduzierung auf weniger als etwa eine Stunde (beide Meßverfahren). Diese
15 Meßzeitreduzierung wird als nicht ausreichend angesehen, da sowohl (Synchrotron)strahlungsquellen als auch die Detektoren beim Langzeitbetrieb Schwankungen unterworfen sind. Auch die Materialprobe selbst kann sich während dieser langen Messung verändern, weshalb idealerweise Echtzeit-Aufnahmen gewünscht
20 sind.

Neben dem hier detaillierter dargestellten Beispiel der Röntgen-Holographie sind Detektoren für Röntgenstrahlung in einer Vielzahl anderer Meßmethoden im Einsatz, zum Beispiel in der
25 Röntgenabsorptionsspektroskopie, der Röntgenbeugung, der Röntgenfluoreszenzanalyse und vielen anderen Feldern mehr. Aus vergleichbaren Gründen, wie den oben erwähnten, limitieren kommerzielle Silizium- und Germanium-Detektoren die Messungen in vielen Anwendungen (zum Beispiel an Synchrotronstrahlungs-
30 quellen) aufgrund der maximal möglichen Ereignisrate der Detektoren oder der erreichbaren Winkel- oder Ortsauflösung.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Detektorsystem vorzusehen, mit dem über eine Orts- bzw. Winkelauflösung die simultane
35 Erfassung des Röntgenlicht möglich ist, so daß sich zum Beispiel bei der Röntgen-Holographie die sonst üblichen Verfahren-

- 5 -

Konstruktion erübrigt. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine hohe Gesamtereignisrate des Detektorsystems zu ermöglichen, so daß die Meßzeit bei gleicher Qualität der Meßergebnisse deutlich reduziert wird, bzw. bei gleicher Meßzeit 5 die Qualität der Meßergebnisse erhöht wird.

Zur Lösung dieser Aufgaben dient ein Detektormodul mit den Merkmalen von Patentanspruch 1 sowie ein aus solchen Detektormodulen aufgebautes Detektorsystem mit den Merkmalen von Patent- 10 anspruch 29. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Detektormoduls bzw. des Detektorsystems sind Gegenstand der zugehörigen Unteransprüche.

Der Grundgedanke der vorliegenden Erfindung besteht darin, 15 mehrere, jeweils eine Anzahl von Detektorelementen enthaltende Detektormodule etwa in Form einer Halbkugel um die zu untersuchende Materialprobe herum anzuordnen. Aufgrund einer solchen Detektoranordnung sind bedeutend geringere Meßzeiten und sogar die Erzeugung von Echtzeit-Bildern möglich.

20

Diese Anordnung von Detektorelementen führt jedoch aufgrund der hohen erforderlichen Dichte der Detektorelemente zu Folgeproblemen bezüglich der Kontaktierung der Detektorelemente und der Kühlung der Detektormodule bzw. der zugehörigen Signalver- 25 arbeitungselektronik. Bei dem erfindungsgemäßen Detektormodul werden Detektorzellen verwendet, die auf dem Siliziumsubstrat mit einer integrierten Vorverstärkerelektronik versehen sind. Dadurch vermindert sich zwar die Länge der Signalleitungswege zwischen dem Detektorelement und der Vorverstärkerstufe, was zu 30 einer beträchtlichen Verminderung von Störungen führt; gleichzeitig erhöht sich aber die Anzahl der Signalleitungen, die von der Detektorelement/Vorverstärker-Anordnung weggeführt werden müssen.

35 Die Anordnung der Detektormodule lehnt sich vorzugsweise an die gekappte Ikosaeder-Struktur der C₆₀-Fullerene (Bucky-Ball)

- 6 -

an, wobei (ähnlich wie bei einem Fußball) durch zehn hexagonale Detektormodule ein inneres Grundgerüst in Form einer Halbkugel gebildet wird, dessen fünf pentagonale Lücken zwischen den hexagonalen Detektormodulen durch fünf weitere Detektormodule ausgefüllt werden. Dabei können in die pentagonalen Lücken entweder pentagonale Detektormodule eingesetzt, oder, was aus Kostengründen bevorzugt ist, die pentagonalen Lücken durch identische hexagonale Detektormodule überdeckt werden.

10 Bei einer bevorzugten Ausgestaltung beträgt der Radius der Halbkugel ca. 3,7 cm. Bei dieser Ausgestaltung sind insgesamt etwa 900 einzelne Detektorelemente vorgesehen, wodurch eine Raumwinkelauflösung von etwa 4° erreicht wird. Bei der gekappten Ikosaeder-Struktur werden insgesamt 15 Detektormodule benötigt, 15 wobei jedes Detektormodul etwa 60 Detektorelemente trägt. Als Detektortyp werden Silizium-Detektoren verwendet, bei denen im Gegensatz zu den bekannten Germanium-Detektoren ein Betrieb bei Raumtemperatur möglich ist. Silizium-Detektoren sind Germanium-Detektoren bei niedrigen und mittleren Energien und hohen Zähl- 20 raten in der Auflösung überlegen. Jedoch hat jedes Silizium-Detektorelement (bedingt durch den darin integrierten Transistor) eine Leistungsaufnahme von bis zu etwa 4 mW, so daß sich daraus eine Leistungsdichte von bis zu etwa 80 mW/cm^2 ergibt. Daraus wird deutlich, daß trotz der Verwendung von Silizium- 25 Detektoren Maßnahmen zur Kühlung der Detektorelemente bzw. der Detektormodule erforderlich sind (konventionelle Luft-, Wasser- oder Peltier-Kühlung).

Wie vorstehend erläutert, enthält jedes Detektormodul vor- 30 zugsweise etwa 60 Detektorelemente, die in flächiger, nebeneinanderliegender Anordnung ein Detektorarray bilden, das im wesentlichen die gleiche sechseckige Grundform wie das eigentliche Detektormodul hat. Aufgrund der notwendigen, parasitärarmen Ankopplung der Signalverarbeitungselektronik zur Verar- 35 beitung der von den einzelnen Detektorelementen (hochempfindliche Driftdetektorzellen, die monolithisch mit Feldeffekt-

- 7 -

transistoren integriert sind) ausgehenden Analogsignale muß diese Signalverarbeitungselektronik in der Nähe der Detektorelemente bzw. des Detektorarrays integriert werden. Wegen der geringeren Eigenerwärmung der einzelnen Detektorelemente und der deutlich höheren Verlustleistungsaufnahme der Komponenten der Signalverarbeitungselektronik ist eine thermische Entkopplung zwischen der Signalverarbeitungselektronik und dem Detektorarray sowie eine Kühlung bzw. eine gute Wärmeableitung entsprechender Wärmeströme erforderlich. Eine gute Wärmeableitung wird dadurch erreicht, daß Gehäuseteile des Modulkörpers aus einem Material mit guten Wärmeleiteigenschaften bestehen, vorzugsweise Graphit. Eine thermische Entkopplung beider Wärmequellen wird dadurch erzielt, daß Wärmeströme der beider Wärmequellen möglichst kurze gemeinsame Pfade nehmen. Die Auswahl geeigneter Materialien und Querschnitte zwischen Wärmequellen und Wärmesenke richtet sich nach den jeweiligen Beträgen der Wärmeströme.

Die ortsnahe Integration bzw. parasitätsarmen Ankopplung der Signalverarbeitungselektronik an das Detektorarray erfolgt vorzugsweise mit Hilfe eines Leiterbahnträgers, der direkt über dem Detektorarray angeordnet ist. Auf diesem Leiterbahnträger müßte theoretisch für jeden Anschluß von jedem Detektorelement eine Leiterbahn vorgesehen sein, wobei jede Leiterbahn einen ersten Endkontakt in direkter Nähe zu dem jeweiligen Detektoranschluß, um mit diesem durch einen Bonddraht verbunden zu werden, und einen zweiten Endkontakt hat, der sich an einer Endkante des Leiterbahnträgers befindet, um von dort mit der Elektronik verbunden zu werden.

Bei der elektrischen Kontaktierung der einzelnen Silizium-Detektorelemente wären für jedes Detektorelement in der hier vorgestellten Ausbildung mit integriertem Feldeffekttransistor insgesamt 6 Anschlüsse zu kontaktieren und mit sehr kurzen Bonddrahtlängen mit dem über den Detektorelementen angeordneten Leiterbahnträger zu verbinden. Bei einer sensitiven Fläche von etwa 5 mm^2 für jedes Detektorelement ist eine Kontaktierung mit

konventioneller Drahtbondtechnik nicht möglich. Auch würden sich die auf dem Leiterbahnträger dicht nebeneinanderliegenden Leiterbahnen gegenseitig beeinflussen, was zu einer starken Beeinträchtigung der Meßergebnisse führen würde. Dieses Problem wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß einige Anschlüsse der Detektorelemente, vorzugsweise die empfindlichen Signalleiteranschlüsse vorzugsweise jeweils zusammen mit einem konstantspannungsführenden Anschluß, durch Bonddrähte mit dem Leiterbahnträger bzw. mit den jeweils ersten Endkontakten der auf dem Leiterbahnträger vorgesehenen Leiterbahnen verbunden werden. Die übrigen Anschlüsse der Detektorelemente werden mit Hilfe von einfachen Kettenbondverbindungen an eine äußere, an den Außenkanten des Detektorarrays ringartig verlaufende Busstruktur angeschlossen und über Bonddrähte durch zusätzliche Bohrungen im Randbereich des Leiterbahnträgers mit auf dem Leiterbahnträger vorgesehenen Leiterbahnen verbunden. Dadurch wird die Anzahl der Bondverbindungen, die durch Bohrungen in dem Leiterbahnträger geführt werden müssen, und auch die Anzahl der Leiterbahnen deutlich vermindert. Um die unerwünschte gegenseitige Kopplung der auf dem Leiterbahnträger nebeneinander angeordneten Leiterbahnen zu reduzieren, werden die Leiterbahnen, die mit den obigen konstantspannungsführenden Anschlüssen verbunden sind, auf dem Leiterbahnträger jeweils zwischen zwei nebeneinander verlaufenden Signalleiterbahnen geführt.

Die Kopplung zwischen Signalleitungen ist ganz wesentlich durch die Dielektrizitätskonstante des Trägermaterials bestimmt. Keramische Materialien, wie Al_2O_3 oder auch AlN , weisen eine um etwa den Faktor 3 höhere Dielektrizitätskonstante auf als zum Beispiel Polymere. Daher ist zwischen dem mechanisch stabilen Trägermaterial mit höherer Dielektrizitätskonstante und der signalführenden Metallisierungsebene vorzugsweise eine Zwischenschicht mit einer deutlich kleineren Dielektrizitätskonstanten eingebettet. Die Dicke dieser Zwischenschicht sollte etwa der Breite einer signalführenden Leiterbahn entsprechen. Als Material für die Zwischenschicht bieten sich besonders Benzocyclobutene oder auch Polyphenylquinoxaline mit einer relativen

Dielektrizitätskonstanten von ca. 2,7 an, aber auch Standard-Polyimide wären denkbar. Eine weitere Optimierung ergibt sich daraus, die in der Metallisierungsebene befindlichen Abschirm-Leiterbahnen (detaillierte Erläuterung folgt) an gleicher Stelle
5 auch in einer zweiten Metallisierungsebene zwischen dem steifen Träger und der dielektrischen Zwischenschicht vorzusehen. Im Vergleich zu der einfachsten Lösung, bei der die Signalleitungen direkt auf einem keramischen Träger ausgebildet sind, kann die Koppelkapazität gerade bei kleinen Abständen zwischen den
10 Signalleitungen (zum Beispiel ca. 50 μm bei Leiterbahnbreiten von ca. 15 μm) um mehr als den Faktor 30 reduziert werden.

Wie eingangs erwähnt, besteht der Grundgedanke der Erfindung darin, mehrere, jeweils eine Anzahl von Detektorelementen ent-
15 haltende Detektorarrays bzw. Detektormodule etwa in Form einer Halbkugel um die zu untersuchende Materialprobe herum anzuordnen. Vorzugsweise ist die Halbkugelfläche durch eine Anordnung aus mehreren flächigen Detektormodulen aufgebaut, die jeweils mehrere Detektorelemente enthalten. Dabei sind die einzelnen
20 Detektormodule vorzugsweise so geformt und angeordnet, daß eine möglichst lückenlose Abdeckung der Halbkugelfläche erreicht wird. Bevorzugt ist dabei die Verwendung von möglichst wenigen verschiedenen Modulformen. Eine mögliche Variante besteht darin, vier Sechsecke und fünf Vierecke zu einem Tetrakaidekaeder
25 zusammenzufügen. Eine weitere bevorzugte Variante besteht darin, eine gekappte Ikosaeder-Struktur der C_{60} -Fullerene (Bucky-Balls) zu verwenden, bei der eine etwa halbkugelförmige Fläche aus zehn Sechsecken gebildet ist, deren fünf fünfeckige Freiflächen entweder durch passend eingefügte Fünfecke geschlossen oder durch
30 gleiche Sechsecke überdeckt werden. Bei beiden beispielhaft genannten Varianten ist es bevorzugt, die Halbkugelfläche aus identischen Detektormodulen aufzubauen, weshalb die viereckigen Freiflächen des Tetrakaidekaeders bzw. die fünfeckigen Freiflächen der Ikosaeder-Struktur jeweils durch die sechseckigen
35 Basismodule überdeckt werden, wodurch bei beiden Varianten nur ein einziger Modultyp (ein sechseckiges Detektormodul) erforder-

- 10 -

lich ist. Zur besseren Anpassung an die Halbkugelfläche ist es natürlich auch möglich, gekrümmte Detektormodule zu verwenden.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird die
5 vorstehend genannte Ikosaeder-Struktur verwendet, bei der sich die Verbindungen zwischen den einzelnen Detektorelementen und der nachgeschalteten Signalverarbeitungselektronik (Analogverstärker usw.) sehr kurz halten lassen, um auf diese Weise parasitäre Effekte zu vermindern. Der oder die Chips, die die
10 Signalverarbeitungselektronik enthalten, sind vorzugsweise über dem Detektormodul angeordnet und gegenüber dem Detektorarray strahlungstechnisch abgeschirmt. Die Verbindungen zwischen den Anschlüssen der Detektorelemente eines Detektorarrays mit den Anschlüssen der Chips der Signalverarbeitungselektronik werden
15 mit Hilfe eines biegsames Flachkabels bzw. einer flexiblen Anschlußfolie hergestellt, das nahe einer Seitenkante des sechseckigen Detektormoduls herausgeführt wird.

Wie bereits vorstehend erläutert, hat das bevorzugte Detek-
20 tormodul eine sechseckige Form und enthält ca. 61 angeschlossene Detektorelemente. Die äußere Kantenlänge des bevorzugten Moduls beträgt etwa 1,5 cm, und die aktive Fläche beträgt etwa 3 cm². Das Verhältnis von aktiver zu passiver Fläche beträgt etwa 50 %, wobei dieses Verhältnis von der verwendeten Bondtechnik abhängig
25 ist. Bei der sogenannten Flip-Chip-Kontaktierung kann ein Verhältnis von aktiver zu passiver Fläche von etwa 90 % erreicht werden. Bei der Flip-Chip-Kontaktierung können Probleme wegen der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von AlN (Leiterbahnträger) und Si (Detektorarray) auftreten. Eine mög-
30 liche Lösung stellt die Verwendung von Silizium auch für den Leiterbahnträger dar, wobei dann beispielsweise eine Polymer-schicht als Dielektikum verwendet werden kann.

Bei einem bevorzugten Kugelradius der Bucky-Ball-Anordnung
35 von etwa 3,7 cm ergibt sich eine mittlere Raumwinkelauflösung von etwa 4°. Dabei ist offensichtlich, daß sich die Raumwinkel-

- 11 -

auflösung unter Beibehaltung der Detektorelement-Flächendichte durch Erhöhung des Halbkugelradius steigern läßt. Hierbei steigt jedoch gleichzeitig auch die Gesamtanzahl der Detektorelemente und folglich auch der technische Aufwand, der zur Verarbeitung 5 der Vielzahl von Datenkanälen erforderlich ist. Die Raumwinkelauflösung läßt sich unter Beibehaltung des Halbkugelradius auch durch eine Verringerung der aktiven Fläche pro Detektorelement (und folglich durch eine Erhöhung der Detektorelement-Flächendichte) steigern, wobei dieser Miniaturisierung durch die ver- 10 wendeten Bondtechniken Grenzen gesetzt sind.

Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben, in denen:

- 15 Fig. 1 eine Gesamt- und eine Detailansicht der Metallisierungsebene eines Detektorelements zeigt;
- Fig. 2 eine Ansicht des kettengebundenen Detektorarrays (links) und des Leiterbahnträgers (mitte) mit einem 20 Arrayausschnitt sowie der flexiblen Anschlußfolie mit einem Schaltungsträger (rechts) zeigt;
- Fig. 3 eine vergrößerte Darstellung des Leiterbahnträgers 25 zeigt;
- Fig. 4 eine perspektivischen Ansicht eines komplett montierten Detektormoduls gemäß des ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung zeigt; und
- 30 Fig. 5 eine Querschnittsansicht eines Detektormoduls gemäß eines zweiten Ausführungsbeispiels der Erfindung zeigt.

Der linke Teil von Figur 1 zeigt die Gesamtansicht der Metallisierungsebene eines einzelnen Detektorelements, und der 35 rechte Teil von Figur 1 zeigt eine Detailansicht dieser Metallisierungsebene. Im Zentrum des Detektorelements befinden sich

Drain- (D) sowie Gate- und Sourceanschlüsse (S) des monolithisch integrierten Feldeffekttransistors (Single-Sided Junction FET: SSJFET). Ein innerer Schutzring (IGR) und ein Substratanschluß (IS) trennen den Transistor räumlich von seiner Umgebung ab. Die schattiert dargestellten Metallstreifen stellen die Elektroden der darunterliegenden, geschlossenen, p-dotierten Wannen des Driftbereiches dar. Durch eine spannungsteilende Widerstandskette (Zick-Zack-Struktur) werden die Streifenpotentiale eingestellt. Diese Streifenpotentiale steigen von etwa -10 V mit zunehmendem Radius an. Ein sechseckiges Detektorarray hat vorzugsweise 61 dieser Detektorelemente, wobei diese 61 Detektorelemente von einer waabenförmigen Metallisierung (siehe Figur 2) umschlossen sind, mittels derer die einzelnen Detektorelemente mit der höchsten Sperrspannung versorgt werden. Die Substratrückseite der einzelnen Detektorelemente ist ebenfalls vorgespannt und bildet das Eintrittsfenster für die nachzuweisenden Photonen.

Figur 2 zeigt den Aufbau eines Detektormoduls mit 61 Detektorelementen und die entsprechende Anordnung der Anschlüsse der Detektorelemente. Im linken Teil von Figur 2 ist die Anordnung der einzelnen Detektorelemente zu einem Detektorarray (der Übersichtlichkeit halber ist nur die Metallisierungsebene des Zellenkerns mit Bondflächen dargestellt), im mittleren Teil ein Leiterbahnträger, der im zusammengebauten Zustand über dem Detektorarray angeordnet ist, und im rechten Teil eine flexible Anschlußfolie mit einem Schaltungsträger dargestellt. Die zu erreichende Deckungsübereinstimmung soll in Figur 2 durch den Detektorausschnitt gezeigt werden, dem zu entnehmen ist, daß sich die Bohrungen in dem Leiterbahnträger im zusammengebauten Zustand etwa über den Detektorelementen befinden. Wie im linken Teil von Figur 2 schematisch dargestellt, sind vier der jeweils sechs Anschlüsse (Pads) eines Detektorelements mit Hilfe von einfachen Kettenbondverbindungen an eine äußere, an den Außenkanten des Detektorarrays verlaufende Busstruktur angeschlossen. Dabei liegen die Anschlüsse RD und IS (siehe im linken Teil von

Figur 1) auf einem gemeinsamen Potential. Die Bussignale sowie die beiden übrigen Anschlüsse R#1 und S (siehe linker Teil von Figur 1) werden über Bonddrahtverbindungen durch insgesamt 66 Bohrungen, deren Durchmesser etwa 1,25 mm beträgt, mit Endkontaktpunkten von jeweiligen Leiterbahnen verbunden, die auf dem keramischen Leiterbahnträger (mittlerer Teil von Figur 2) vorgesehen sind. Dabei werden die Anschlüsse R#1 und S von jedem Detektorelement durch die jeweils über dem Detektorelement liegende Bohrung geführt und mit den zugehörigen Kontaktpunkten der Leiterbahnen verbunden. Alle Leiterbahnen auf dem Leiterbahnträger münden an einer der sechs Kanten des Leiterbahnträgers (in Figur 2 ist es die rechte Kante des Leiterbahnträgers) und werden durch Drahtverbindungen direkt oder über eine flexible Anschlußfolie mit fünf integrierten Schaltungen (Front-End-Chips), die jeweils 12 Analogkanäle haben, gekoppelt (siehe rechter Teil von Figur 2), wo die Meßsignale verarbeitet werden. Neben den aktiven Komponenten können sich auf dem Schaltungsträger auch einige passive Komponenten befinden.

Figur 3 zeigt eine vergrößerte Darstellung des Leiterbahnträgers aus Figur 2, der im zusammengebauten Zustand des Detektormoduls über dem Detektorarray angeordnet ist. Deutlich zu sehen sind die Bohrungen zum Durchführen der beiden Bonddrähte von den beiden Detektoranschlüssen jedes Detektorelements. Die Bohrungen sind im zusammengesetzten Zustand des Detektormoduls jeweils über einem zugehörigen Detektorelement angeordnet. Direkt am Rand dieser Bohrungen sind auf der dem Detektorarray abgewandten Fläche des Leiterbahnträgers jeweils zwei Endkontakte (Ausgangssignalanschluß S und Versorgungsspannung R#1) von Leiterbahnen vorgesehen, an denen die von den Detektoranschlüssen ausgehenden und durch die zugehörigen Bohrungen herausgeführten Bonddrähte angebunden werden. Die Leiterbahnen verlaufen dann zwischen den anderen Bohrungen in Richtung auf die rechte Kante des Leiterbahnträgers, wo sie in einer Reihe von zweiten Endkontakten enden, an denen dann eine flexible

Anschlußfolie oder ein starrer Schaltungsträger angeschlossen werden kann.

Die in Figur 3 gezeigte Anordnung bzw. der Verlauf der 5 Leiterbahnen vom ersten Endkontakt zum zweiten Endkontakt ist genau so bestimmt, daß die einzelnen Leiterbahnen gegenüber in der Nähe verlaufender Leiterbahnen weitestgehend entkoppelt sind. Wie in Figur 3 weiter zu sehen ist, verlaufen zwischen den einzelnen signalführenden Leiterbahnen, die jeweils mit 10 den Ausgangssignalanschlüssen S gekoppelt sind, sogenannten Abschirm-Leiterbahnen, die jeweils auf dem festen Potential R#1 liegen.

Figur 4 zeigt den mechanischen Gesamtaufbau des Detektor- 15 moduls gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung. Dargestellt sind das aus den 61 Detektorelementen aufgebaute Detektorarray mit den in Figur 4 nach unten zeigenden Eintrittsfenstern und der über dem Detektorarray angeordnete Leiterbahnträger. Das Detektorarray und der Leiterbahnträger sind durch 20 ein sechseckiges Gehäuse gehalten. Wie unter Bezugnahme auf Figur 2 erläutert, sind vier der sechs Anschlüsse von jedem der 61 Detektorelemente des Detektorarrays durch einfache Kettenbondverbindungen an eine äußere Busstruktur angeschlossen. Zum Zusammenbau des Detektormoduls wird zunächst das Detektor- 25 array in das Gehäuse eingesetzt, mit diesem verklebt und kettenförmig gebondet. Anschließend wird die bereits bestückte Anordnung aus Leiterbahnträger und Schaltungsträger über dem Detektorarray in dem Gehäuse befestigt, wobei das Detektorarray und der Leiterbahnträger einen gleichmäßigen Abstand voneinander 30 haben. Danach werden die für den Leiterbahnträgeranschluß vorgesehenen Bonddrähte durch die Bohrungen geführt und mit den beiden freien Anschlüssen der einzelnen Detektorelemente verbunden. An dieser Stelle werden die Vorteile der Erfindung besonders deutlich, da gut erkennbar ist, daß von den sechs 35 Anschlüssen nur zwei Anschlüsse durch die Bohrungen des Leiterbahnträgers kontaktiert werden müssen. Die übrigen vier

Anschlüsse jedes Detektorelements werden durch einfache Kettenbondverbindungen angeschlossen, was mechanisch unkritisch ist, da bei diesem Herstellungsschritte die obere Kontaktfläche des Detektorarrays freiliegt.

5

Bei der in Figur 4 gezeigten Ausgestaltung des Detektormoduls sind die Front-End-Chips und weitere passive Komponenten auf einem Schaltungsträger vorgesehen, der durch Drahtverbindungen direkt mit dem Leiterbahnträger verbunden ist, sofern die
10 Verbindungsleitungen und die Schaltung nicht gemeinsam auf einem gemeinsamen Träger realisiert werden.

Eine sehr viel kompaktere Bauweise des Detektormoduls ist in Figur 5 dargestellt, in der ein Querschnitt einer alternativen
15 Ausgestaltung des Detektormoduls gezeigt ist. Wie in Figur 5 zu sehen ist, ist das gebondete Detektorarray mit den nach unten zeigenden Strahlungs-Eintrittsfenstern in ein sechseckiges Gehäuse (bzw. in den Grundträger) eingesetzt und mit diesem verklebt. Direkt über dem Detektorarray (und von diesem gleich-
20 mäßig beabstandet) ist der Leiterbahnträger in das Gehäuse eingesetzt. In dieser Querschnittsansicht sind die in dem Leiterbahnträger vorgesehenen Bohrungen zu sehen, durch die für jedes Detektorelement die beiden Bonddrähte geführt sind, mittels derer die beiden Anschlüsse von dem jeweiligen Detektorelement
25 mit zugehörigen Leiterbahnen auf dem Leiterbahnträger verbunden sind. Wie in Figuren 2, 3 und 4 zu sehen, enden auch bei der in Figur 5 gezeigten Ausgestaltung die auf dem Leiterbahnträger vorgesehenen Leiterbahnen an einer Kante des Leiterbahnträgers und sind an ihren Endpunkten bzw. Endkontakten mit einer flexi-
30 blen Anschlußfolie I verbunden. Die gegenüberliegenden Kontakte der Anschlußfolie I sind mit einem separaten Schaltungsträger verbunden, auf dem die gesamte analoge Signalverarbeitungselektronik vorgesehen ist. Die auf dem Schaltungsträger vorgesehenen Komponenten sind allgemein relativ strahlungsempfindlich und
35 müssen daher abgeschirmt werden. Das wird bei der in Figur 5 gezeigten Ausgestaltung dadurch erreicht, daß über dem bereits

- 16 -

im Gehäuse befestigten Leiterbahnträger ein Strahlungsschild vorgesehen ist, über dem der mit der Signalverarbeitungselektronik versehene Schaltungsträger angeordnet ist. Wie in Figur 5 deutlich zu sehen ist, wird die flexible Anschlußfolie I von dem 5 Leiterbahnträger ausgehend seitlich durch einen Spalt an dem Strahlungsschild vorbei zu dem Schaltungsträger geführt. Die Ausgangssignale vom Schaltungsträger werden dann durch eine zweite flexible Anschlußfolie II durch den über dem Schaltungsträger vorgesehenen Deckel II des Detektormoduls nach draußen 10 geführt. Diese zweite Anschlußfolie II dient zur Kopplung des Detektormoduls mit einem A/D-Wandler-Modul, der digitalen Signalverarbeitungselektronik und einem Computer, der die erfaßten und vorverarbeiten Meßsignale weiterverarbeitet. Im konkreten Beispiel der Holographie wird nachfolgend ein Holo- 15 gramm der atomaren Struktur der untersuchten Materialprobe auf einem Bildschirm darstellt.

Nicht nur aus Gründen der besseren Wärmeabfuhr besteht das Gehäuse des Detektormoduls zum wesentlichen Teil aus Graphit. 20 Auch gestattet die niederenergetische Lage der Kohlenstofffluoreszenz eine Ausdehnung des empfindlichen Energiebereichs bis auf Werte um etwa 300 eV. Weiterhin sprechen auch formgebungstechnische Gesichtspunkte für die Auswahl von Graphit, da sich Graphit aufgrund seiner Feinkörnigkeit mit geringen 25 Fertigungstoleranzen von unter 50 µm bearbeiten läßt. Wahlweise können verschiedene Teile des Gehäuses, wie zum Beispiel der Grundträger oder die Deckel Ia und Ib, auch aus Aluminium oder anderen Metallen oder auch technischen Keramiken bestehen, wie Aluminiumoxid oder Aluminiumnitrid (AlN).

30

Nicht alle Photonen werden im Siliziumvolumen des Detektorarrays absorbiert. Stattdessen wächst die Rate transmittierter Photonen mit zunehmender Photonenenergie progressiv an. Bei einem geschichteten Modulaufbau, wie er in Figur 5 gezeigt ist, 35 kann die signalverarbeitende Elektronik durch diese Strahlung geschädigt und das Modul somit außer Funktion gesetzt werden.

Ausfälle durch Strahlungsschäden lassen sich durch Einbettung des oben erwähnten Strahlungsschildes oberhalb des Detektorarrays verhindern. Dort absorbierte Photonen regen die Abschirmmaterialien zur Fluoreszenzstrahlung an, die sich dem eigentlich nachzuweisenden Energiespektrum aus der Probe überlagert. Als geeignete Strahlungsschildmaterialien sind chemisch stabile Materialien mit Atomen hoher Kernladungszahl geeignet, wie zum Beispiel Tantal oder Wolfram, um die Strahlenbelastung der Elektronik über die Detektorlebensdauer unterhalb von 1 krad zu halten. Zwischen dieser ersten Schicht (zum Beispiel aus Tantal oder Wolfram) und dem Detektorarray kann eine zweite Schicht aus einem geeigneten Material mit Atomen mittlerer Kernladungszahl, wie beispielsweise Titan, Vanadium oder Chrom vorgesehen sein, um die unerwünschte Fluoreszenz des Materials der ersten Schicht nach Absorptionsprozessen im Strahlungsschild zu absorbieren und vom Eintritt in das Detektorarray abzuhalten (im Fall von Tantal die Tantal-Fluoreszenz). Außerdem kann zwischen dieser zweiten Schicht und dem Detektorarray eine dritte Schicht aus einem geeigneten Material mit Atomen niedriger Kernladungszahl, wie zum Beispiel Aluminium, vorgesehen sein, um wiederum die Fluoreszenz des Materials der zweiten Schicht von dem Detektorarray fernzuhalten (im Fall Titan die Titan-Fluoreszenz). Die Fluoreszenz dieses dritten Materials i.a. hinreichend vom Kohlenstoff des Graphits absorbiert, aus dem der Deckel gebildet ist (siehe Figur 5). In der in Figur 5 dargestellten Ausgestaltung des Detektormoduls besteht das Strahlungsschild aus Tantal mit einer Dicke von mehr als 300 μm , Titan mit einer Dicke von mehr als 50 μm und Aluminium mit einer Dicke von mehr als 50 μm . Aufgrund der großen Fläche des Strahlungsschildes ist eine thermische Entkopplung zwischen Strahlungsschild und dem darüberliegenden Graphit-Deckel notwendig. Aus diesem Grunde wird der in Figur 5 materiallos dargestellte Bereich zwischen dem Strahlungsschild und dem Graphit-Deckel vorzugsweise mit einem Material geringer Wärmeleitfähigkeit ausgefüllt werden, wie beispielsweise mit Polymeren.

- 18 -

Die in Figur 5 dargestellte Ausführung des Detektormoduls eignet sich besonders für die eingangs erwähnte halbkugelförmige Anordnung (vorzugsweise die gekappte Ikosaeder-Struktur der C_{60} -Fullerene) um die Materialprobe angeordnet werden. Hierfür ist ein spezieller Rahmen erforderlich, der aus Gründen der besseren Wärmeleitfähigkeit und Abschirmung gegen äußere elektromagnetischen Felder und Strahlung aus Aluminium hergestellt ist. Die Halterung in Figur 5 bildet das Grundelement dieses Rahmens. Auf diese Weise können die einzelnen Detektormodule im Bedarfsfall einfach und schnell ausgetauscht werden. Durch Verwendung von identischen, vorzugsweise sechseckigen, Detektormodulen können außerdem die Herstellungskosten dieser Module gering gehalten werden.

Patentansprüche

1. Detektormodul zur Strahlungsmessung, mit
 - einem Detektorarray, das eine erste, einer Strahlungsquelle zugewandte Fläche, die mit einer Vielzahl von Detektorelementen versehen ist, und eine zweite, der Strahlungsquelle abgewandte Fläche aufweist; und
 - einem Leiterbahnträger, der beabstandet von der zweiten Fläche des Detektorarrays angeordnet und mit Leiterbahnen versehen ist;
 - wobei erste Anschlüsse der Detektorelemente, die sich an der zweiten Fläche des Detektorarrays befinden, mit Hilfe von Bonddrähte mit den Leiterbahnen verbunden sind; und
 - wobei die Leiterbahnen zu einer Signalverarbeitungselektronik geführt sind, um die von den einzelnen Detektorelementen ausgehenden Signale zu verarbeiten.
2. Detektormodul nach Anspruch 1, bei dem die Detektorelemente mit einer Verstärker-Elektronik integriert sind.
3. Detektormodul nach Anspruch 1, bei dem die Detektorelemente hochempfindliche Driftdetektorzellen sind, die monolithisch mit Feldeffekttransistoren integriert sind.
4. Detektormodul nach Anspruch 1, bei dem die Leiterbahnen an der dem Detektorarray abgewandten Fläche des Leiterbahnträgers ausgebildet sind.
5. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Bonddrähte von den ersten Anschlüssen der Detektorelemente durch Bohrungen in dem Leiterbahnträger auf die dem

- 20 -

Detektorarray abgewandte Seite des Leiterbahnträgers geführt sind, um mit den Leiterbahnen verbunden zu werden.

6. Detektormodul nach Anspruch 5, bei dem in dem Leiterbahnträger für jedes Detektorelement eine Bohrung vorgesehen ist.
7. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zweite Anschlüsse der Detektorelemente durch einfache Kettenbondverbindungen an einer auf dem Detektorarray vorgesehene Busstruktur angeschlossen sind.
8. Detektormodul nach Anspruch 7, bei dem die Busstruktur an den Außenkanten des Detektorarrays vorgesehen ist und die Busleitungen der Busstruktur durch Bonddrähte mit auf dem Leiterbahnträger ausgebildeten Leiterbahnen verbunden sind.
9. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Detektorarray zusammen mit dem Leiterbahnträger in einem Gehäuse montiert ist.
10. Detektormodul nach Anspruch 9, bei dem das Gehäuse aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und geringem Röntgen-Fluoreszenzvermögen hergestellt ist.
11. Detektormodul nach Anspruch 9 oder 10, bei dem das Gehäuse aus Graphit hergestellt ist.
12. Detektormodul nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei dem die Signalverarbeitungselektronik ebenfalls in dem Gehäuse vorgesehen ist.
13. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Signalverarbeitungselektronik auf einem Schaltungsträger vorgesehen ist, der an der dem Detektorarray abgewandten Seite des Leiterbahnträgers angeordnet ist.

14. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Signalverarbeitungselektronik durch ein Strahlungsschild gegenüber der Strahlungsquelle abgeschirmt ist.
15. Detektormodul nach Anspruch 14, bei dem das Strahlungsschild zwischen dem Leiterbahnträger und der Signalverarbeitungselektronik vorgesehen ist.
16. Detektormodul nach Anspruch 14 oder 15, bei dem das Strahlungsschild eine erste Schicht aus einem chemisch stabilen Material mit Atomen hoher Kernladungszahl, wie beispielsweise Tantal oder Wolfram, aufweist.
17. Detektormodul nach Anspruch 16, bei dem die erste Schicht des Strahlungsschildes eine Dicke von mehr als 300 μm hat.
18. Detektormodul nach Anspruch 16 oder 17, bei dem an der der Strahlungsquelle zugewandten Seite der ersten Schicht des Strahlungsschildes eine zweite Schicht aus einem Material mit Atomen mittlerer Kernladungszahl vorgesehen ist, wie beispielsweise Titan, Vanadium oder Chrom.
19. Detektormodul nach Anspruch 18, bei dem die zweite Schicht des Strahlungsschildes eine Dicke von mehr als 50 μm hat.
20. Detektormodul nach Anspruch 18 oder 19, bei dem an der der Strahlungsquelle zugewandten Seite der zweiten Schicht des Strahlungsschildes eine dritte Schicht aus einem Material mit Atomen niedriger Kernladungszahl vorgesehen ist, wie beispielsweise Aluminium.
21. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Leiterbahnträger mittels einer flexiblen Anschlußfolie (I) mit dem Schaltungsträger gekoppelt ist.

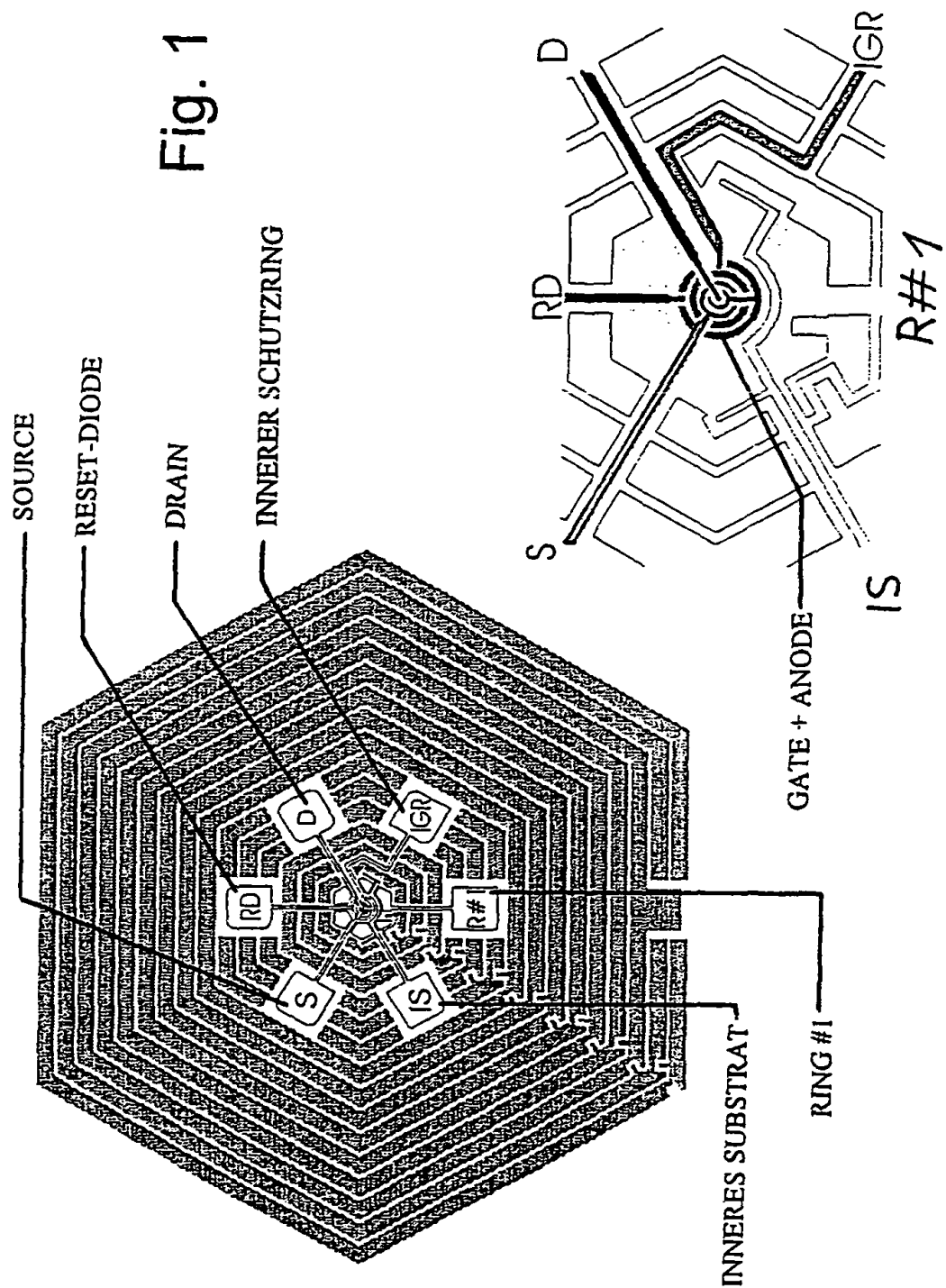
- 22 -

22. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Schaltungsträger mittels einer flexiblen Anschlußfolie (II) mit der Signalverarbeitungselektronik gekoppelt ist.
23. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das eine sechseckige oder fünfeckige oder viereckige Form hat.
24. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kontaktierung zwischen dem Detektorarray und dem Leiterbahnträger mittels Flip-Chip-Kontaktierung ausgeführt ist.
25. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen dem mechanisch stabilen Trägermaterial des Leiterbahnträgers und der signalführenden Metallisierungsebene der Leiterbahnen eine Zwischenschicht vorgesehen ist, deren Dielektrizitätskonstante deutlich kleiner ist als die des Trägermaterials.
26. Detektormodul nach Anspruch 25, bei dem die Zwischenschicht eine Dicke hat, die etwa gleich der Breite von einer signalführenden Leiterbahn entspricht.
27. Detektormodul nach Anspruch 25 oder 26, bei dem als Material für die Zwischenschicht Benzocyclobutene oder Polyphenylquinoxaline verwendet werden.
28. Detektormodul nach einem der Ansprüche 25 bis 27, bei dem in der Metallisierungsebene zwischen den signalführenden Leiterbahnen Abschirm-Leiterbahnen vorgesehen sind und wobei an gleicher Stelle auch in einer zweiten Metallisierungsebene zwischen dem stabilen Trägermaterial des Leiterbahnträgers und der dielektrischen Zwischenschicht weitere Abschirm-Leiterbahnen vorgesehen sind.

29. Röntgendetektorsystem, mit

- einer Anzahl von Detektormodulen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 28;
- einem Rahmen zur Halterung der Anzahl von Detektormodulen auf einer im wesentlichen halbkugelförmigen Fläche um eine zu untersuchende Materialprobe herum;
- wobei die im wesentlichen halbkugelförmigen Fläche durch eine gekappte Ikosaeder-Struktur gebildet ist.

Fig. 1



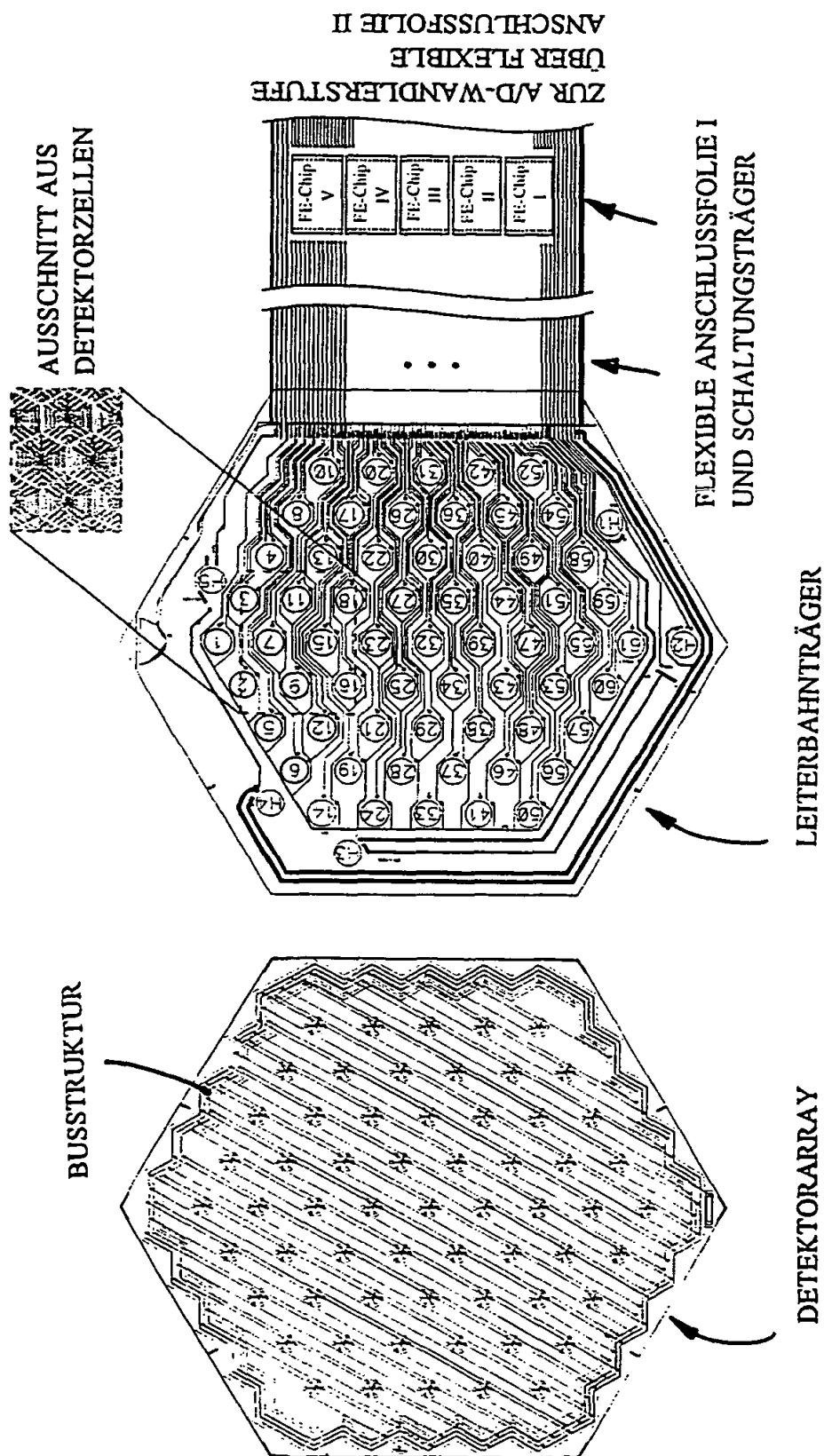
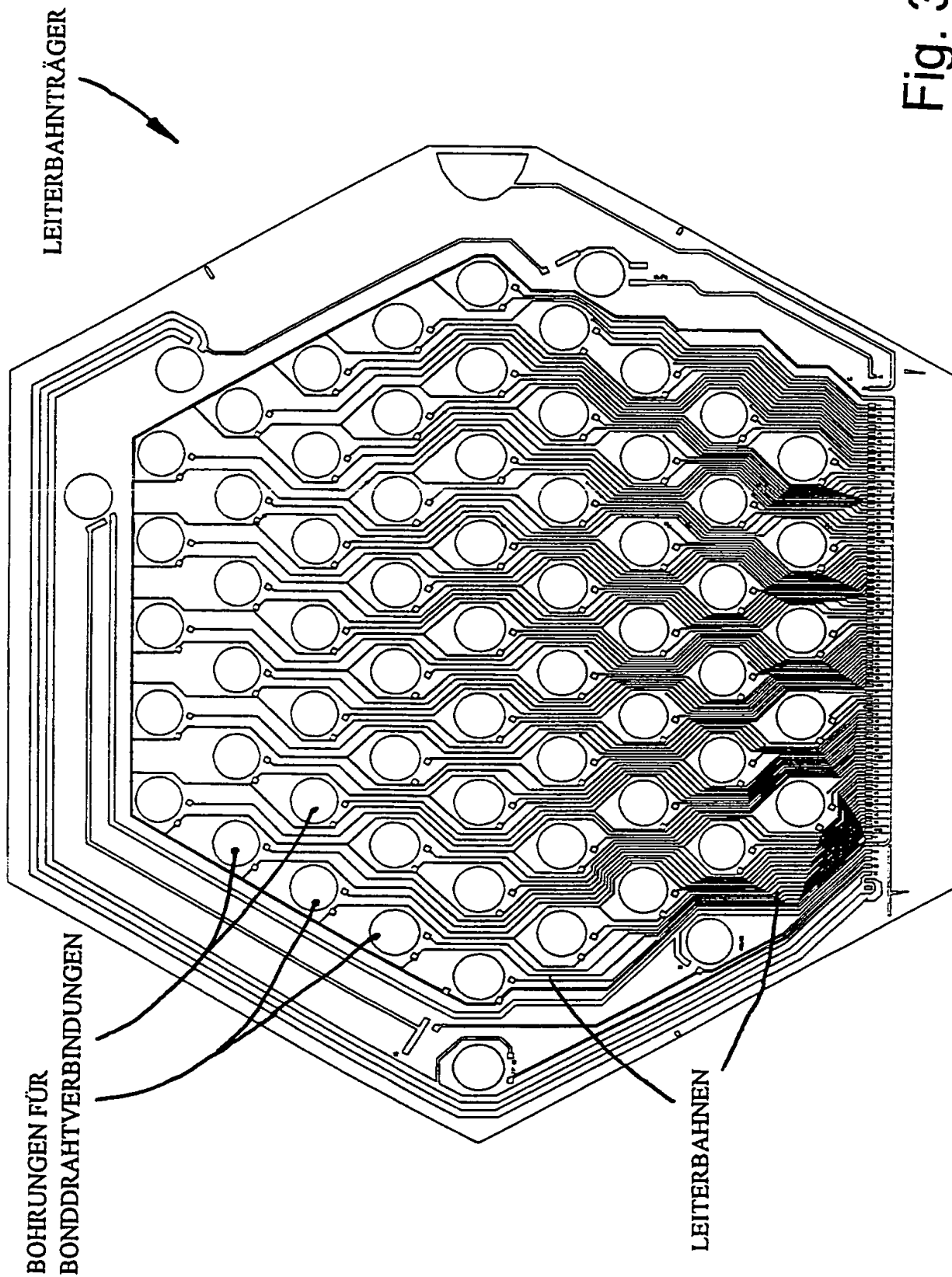


Fig. 2

3/5

Fig. 3



4/5

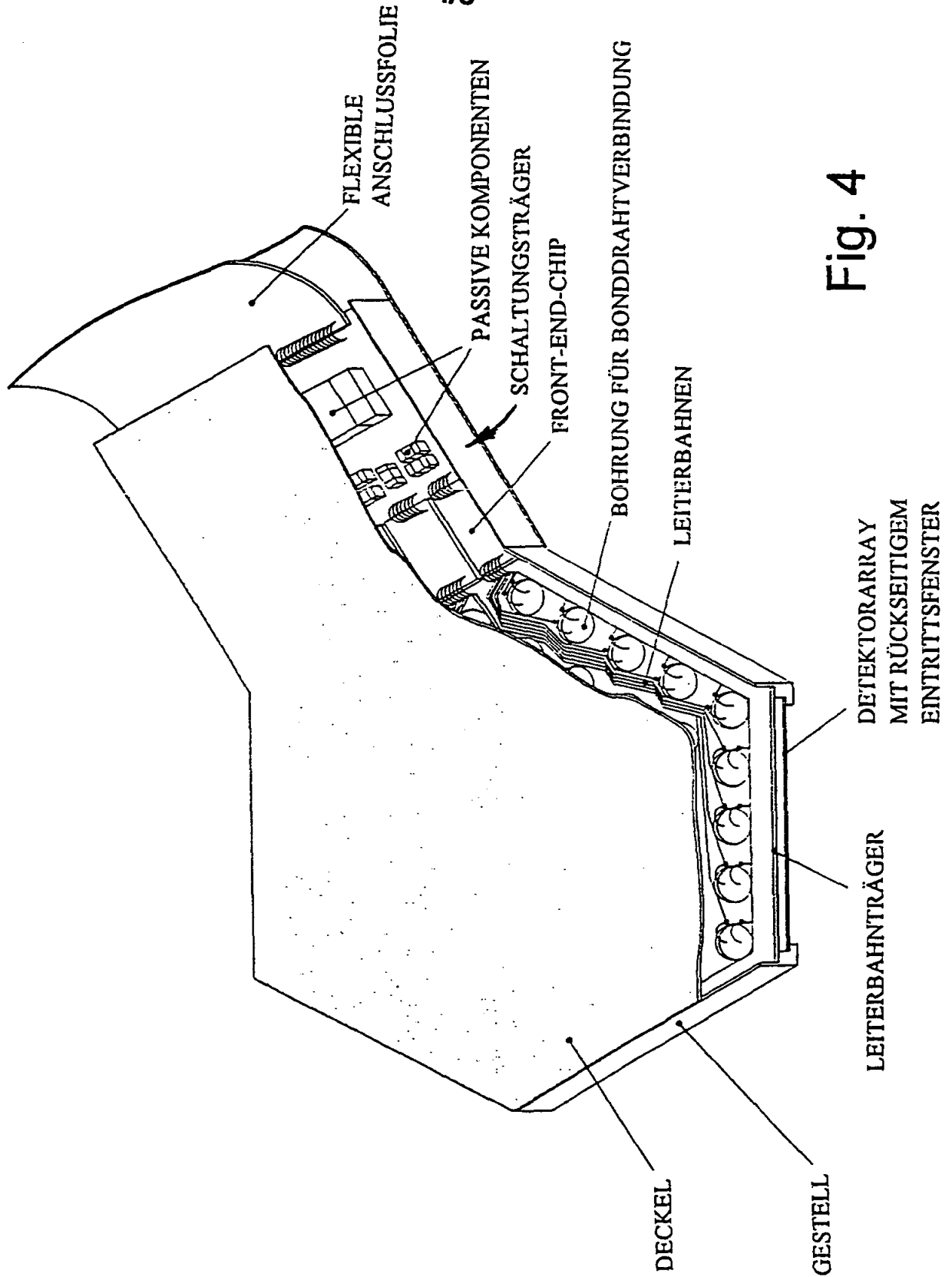


Fig. 4

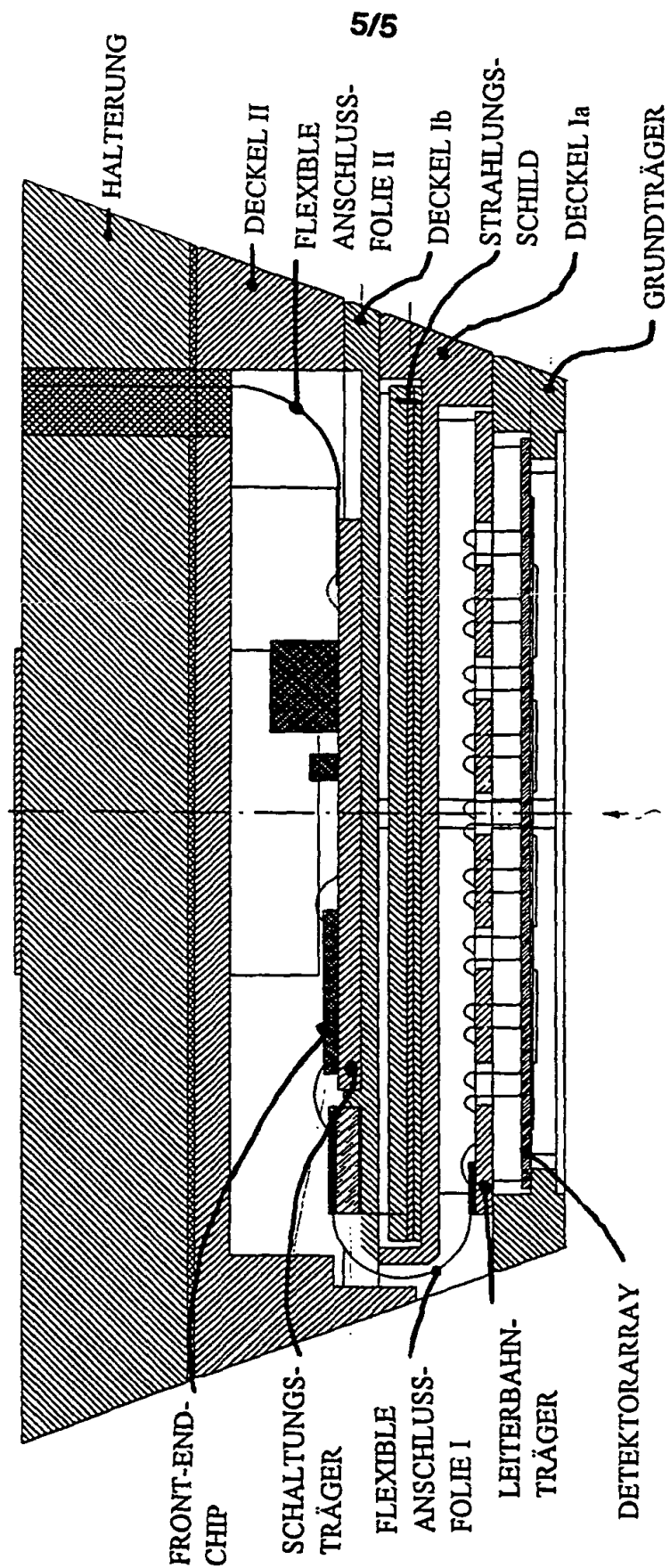


Fig. 5

Translation

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

(PCT Article 36 and Rule 70)

10/018489

RECEIVED
SEP - 9 2002
TECHNOLOGY CENTER

8

Applicant's or agent's file reference P 54199	FOR FURTHER ACTION See Notification of Transmittal of International Preliminary Examination Report (Form PCT/IPEA/416)	
International application No. PCT/EP00/05758	International filing date (day/month/year) 21 June 2000 (21.06.00)	Priority date (day/month/year) 21 June 1999 (21.06.99)
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC H01L 27/146,		
Applicant DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON DESY		

1. This international preliminary examination report has been prepared by this International Preliminary Examining Authority and is transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 7 sheets, including this cover sheet.

☒ This report is also accompanied by ANNEXES, i.e., sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications made before this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions under the PCT).

These annexes consist of a total of 6 sheets.

3. This report contains indications relating to the following items:

- I ☒ Basis of the report
- II ☐ Priority
- III ☐ Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
- IV ☐ Lack of unity of invention
- V ☒ Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
- VI ☐ Certain documents cited
- VII ☒ Certain defects in the international application
- VIII ☒ Certain observations on the international application

Date of submission of the demand 22 December 2000 (22.12.00)	Date of completion of this report 11 October 2001 (11.10.2001)
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/EP00/05758

I. Basis of the report

1. This report has been drawn on the basis of *(Replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to the report since they do not contain amendments.)*:

- ☒ the international application as originally filed.
- ☒ the description, pages 1-3.5-18, as originally filed,
pages _____, filed with the demand,
pages 4,4A, filed with the letter of 11 June 2001 (11.06.2001),
pages _____, filed with the letter of _____.
- ☒ the claims, Nos. _____, as originally filed,
Nos. _____, as amended under Article 19,
Nos. _____, filed with the demand,
Nos. 1-26, filed with the letter of 11 June 2001 (11.06.2001),
Nos. _____, filed with the letter of _____.
- ☒ the drawings, sheets/fig 1/5 - 5/5, as originally filed,
sheets/fig _____, filed with the demand,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____,
sheets/fig _____, filed with the letter of _____.

2. The amendments have resulted in the cancellation of:

- ☐ the description, pages _____
- ☐ the claims, Nos. _____
- ☐ the drawings, sheets/fig _____

3. ☐ This report has been established as if (some of) the amendments had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

4. Additional observations, if necessary:

INTERNATIONAL PRELIMINARY EXAMINATION REPORT

International application No.

PCT/EP 00/05758

V. Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement

1. Statement

Novelty (N)	Claims	8, 11-20, 23-26	YES
	Claims	1-7, 9-10, 21-22	NO
Inventive step (IS)	Claims		YES
	Claims	1-26	NO
Industrial applicability (IA)	Claims	1-26	YES
	Claims		NO

2. Citations and explanations

See supplemental sheets.

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: I-VIII

- 1 This report makes reference to the following documents:

D1: US-A-5 041 729 (TAKAHASHI TETSUHIKO ET AL.)
20 August 1991 (1991-08-20)
D2: US-A-5 464 984 (COX JOHN D. ET AL.) 7
November 1995 (1995-11-07)
D3: US-A-5 777 335 (TAKAMI EIICHI ET AL.) 7 July
1998 (1998-07-07)
- 2 The application does not meet the requirements of
PCT Article 6 because Claims 1, 3, 7, 13, 15, 17,
22, 23 and 26 lack clarity.
 - 2.1 Claim 1 discloses that the detector arrangement has
a first and a second surface. Since a detector
arrangement is merely an assembly of a plurality of
detector elements and does not necessarily include
two surfaces, there has to be a substrate on which
the detector arrangement is provided.
 - 2.2 The subject disclosed in Claim 1 also includes a
device that is part of the detector module and
contains the strip conductor support between the
first and second surface of the detector
arrangement. Said device was disclosed in neither
the description nor the drawings. However, it is
clear from the description and the drawings (see
Figure 5, for example) that the strip conductor
support is provided on the side having the second
surface and at a distance from the second surface.

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: I-VIII

Further, since the positions of other elements of the detector module (for example, electronics, shield) are defined in terms of the position of the strip conductor support, a plurality of dependent claims is rendered unclear. These contradictions between the description and the claims cause the claims to lack clarity (PCT Article 6).

- 2.3 The subject of Claim 1 also includes detector elements made of germanium. Although the latter material has practical disadvantages, the aim is to overcome these (cf. page 2, lines 16-24). However, according to the description, the detector module has been equipped with only silicon detectors (cf. for example page 5, line 25-27; page 6, lines 15-18).

This contradiction between the description and Claim 1 renders this claim unclear (PCT Article 6).

- 2.4 The following expressions used in Claims 1, 3, 7, 13, 15, 17, 22, and 23 are vague and unclear and leave the reader unsure as to the meaning of the technical features in question: "using", "highly sensitive drift detector cells", "high heat conductivity", "high atomic number", "mid-range atomic number", "low atomic number", "mechanically stable support material", "significantly smaller" and "corresponds approximately to the width...conductive strip". Consequently, the definition of the subject matter of these claims lacks clarity (PCT Article 6).

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: I-VIII

2.5 In Claim 26 the wording "...about a material sample to be examined;" refers to a method for using the device, and not to a definition of the device in terms of its technical features. The intended restrictions therefore cannot, contrary to the requirements of PCT Article 6, be clearly derived from the claim.

3 The description (cf. page 5, lines 21-30; page 7, lines 18-21; page 2, lines 26-27) states that the following features are essential for the definition of the invention:

(1) Silicon detector cells fitted with integrated preamplifier electronics on the silicon substrate (cf. page 5, lines 21-30), since the signal has to be transmitted to the signal processing electronics.

(2) The strip conductor support is arranged directly above the detector arrangement (cf. page 7, lines 18-21) in order to guarantee local integration and low-parasitic coupling of the signal processing electronics to the detector array.

Since independent Claim 1 does not contain these features, it does not meet the requirement of PCT Article 6 in conjunction with PCT Rule 6.3(b), according to which each independent claim must include all the technical features that are necessary for the definition of the invention in question.

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: I-VIII

- 4 The present application does not meet the requirements of PCT Article 33(2) because the subject of Claim 1 lacks novelty, insofar as the claims can be understood in light of the above-mentioned points of lack of clarity.
- D2 (cf. Figures 7, 13, 15 and the corresponding text; column 8, line 42 to column 10, line 4) discloses a detector module for X-ray radiation measurement (see column 1, lines 20-24), having:
- a detector array (see Figure 7) having a first surface facing towards a source of radiation, said surface being fitted with a plurality of detector elements (402, 404), and a second surface facing away from the radiation source;
 - and
 - a strip conductor support (314), which is arranged at a distance from the second surface of the detector array and fitted with strip conductors (see column 8, lines 42-65),
- the first detector element connections, which are positioned on the second surface of the detector array, being connected to the strip conductors using bond wires (405) (see column 8, lines 49-53), the bond wires from the first detector element connections being drawn through holes (see Figure 15) (600, 621, 630) in the strip conductor support on the side of said strip conductor side that is facing away from the detector array, in order to be

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: I-VIII

connected with the strip conductors configured on the surface of the strip conductor support facing away from the detector array, a hole being provided in the strip conductor support for each detector element (see Figures 15-17), and the strip conductors leading to signal processing electronics (see Figure 7) (302) in order to process the signal emanating from the individual detector elements.

Therefore the application does not meet the requirements of PCT Article 33(2).

5 The additional features of Claims 2-7, 9-10, and 21-22 are also already known from D2 (see Figures 7, 13, 15 and the corresponding text). Therefore they do not meet the requirements of PCT Article 33(2).

6 In light of the disclosure of D2 (see Figure 1 and corresponding text), Claims 8, 11-20, and 23-26 appear to contain no additional features which, combined with the features of any claim to which they refer, could lead to subject matter involving an inventive step.

7 In the interest of completeness, the following substantive matter is noted.

7.1 Independent Claim 1 has not been drafted in the

10/10/10

Supplemental Box

(To be used when the space in any of the preceding boxes is not sufficient)

Continuation of: I-VIII

two-part form defined by PCT Rule 6.3(b). However, the two-part form would appear to be appropriate in this case. Accordingly, the features known in combination from the prior art should be set out in a preamble (PCT Rule 6.3(b)(i)) and the remaining features should be specified in a characterising part (PCT Rule 6.3(b)(ii)).

- 7.2 Contrary to the requirements of PCT Rule 5.1(a)(ii), the description neither cites D1-D3 nor indicates the relevant prior art disclosed therein.

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER VORLÄUFIGER PRÜFUNGSBERICHT

(Artikel 36 und Regel 70 PCT)

REC'D 15 OCT 2001

WIPO PCT

10018489

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts P 54199	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übersendung des internationalen vorläufigen Prüfungsberichts (Formblatt PCT/IPEA/416)	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP00/05758	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 21/06/2000	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Tag) 21/06/1999
Internationale Patentklassifikation (IPK) oder nationale Klassifikation und IPK H01L27/146		
Anmelder DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON DESY		

1. Dieser internationale vorläufige Prüfungsbericht wurde von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt.



2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 7 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.

☒ Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; dabei handelt es sich um Blätter mit Beschreibungen, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit vor dieser Behörde vorgenommenen Berichtigungen (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsrichtlinien zum PCT).

Diese Anlagen umfassen insgesamt 6 Blätter.

3. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- I ☒ Grundlage des Berichts
- II ☐ Priorität
- III ☐ Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- IV ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- V ☒ Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- VI ☐ Bestimmte angeführte Unterlagen
- VII ☒ Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- VIII ☒ Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 22/12/2000	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 11.10.2001
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde:  Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter Bernabé Prieto, A Tel. Nr. +49 89 2399 2224 

I. Grundlage des Berichts

1. Hinsichtlich der **Bestandteile** der internationalen Anmeldung (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt, weil sie keine Änderungen enthalten (Regeln 70.16 und 70.17)*):
Beschreibung, Seiten:

1-3,5-18 ursprüngliche Fassung

4,4A eingegangen am 11/06/2001 mit Schreiben vom 11/06/2001

Patentansprüche, Nr.:

1-26 eingegangen am 11/06/2001 mit Schreiben vom 11/06/2001

Zeichnungen, Blätter:

1/5-5/5 ursprüngliche Fassung

2. Hinsichtlich der **Sprache**: Alle vorstehend genannten Bestandteile standen der Behörde in der Sprache, in der die internationale Anmeldung eingereicht worden ist, zur Verfügung oder wurden in dieser eingereicht, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.

Die Bestandteile standen der Behörde in der Sprache: zur Verfügung bzw. wurden in dieser Sprache eingereicht; dabei handelt es sich um

- ☐ die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen Recherche eingereicht worden ist (nach Regel 23.1(b)).
- ☐ die Veröffentlichungssprache der internationalen Anmeldung (nach Regel 48.3(b)).
- ☐ die Sprache der Übersetzung, die für die Zwecke der internationalen vorläufigen Prüfung eingereicht worden ist (nach Regel 55.2 und/oder 55.3).

3. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale vorläufige Prüfung auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das:

- ☐ in der internationalen Anmeldung in schriftlicher Form enthalten ist.
- ☐ zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.
- ☐ bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.
- ☐ Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.
- ☐ Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfassten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

4. Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- ☐ Beschreibung, Seiten:
- ☐ Ansprüche, Nr.:
- ☐ Zeichnungen, Blatt:

5. ☐ Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der Änderungen erstellt worden, da diese aus den angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2(c)).

(Auf Ersatzblätter, die solche Änderungen enthalten, ist unter Punkt 1 hinzuweisen; sie sind diesem Bericht beizufügen).

6. Etwaige zusätzliche Bemerkungen:

V. Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung

1. Feststellung

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche	8, 11-20, 23-26
	Nein: Ansprüche	1-7, 9-10, 21-22
Erfinderische Tätigkeit (ET)	Ja: Ansprüche	
	Nein: Ansprüche	1-26
Gewerbliche Anwendbarkeit (GA)	Ja: Ansprüche	1-26
	Nein: Ansprüche	

2. Unterlagen und Erklärungen
siehe Beiblatt

VII. Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung

Es wurde festgestellt, daß die internationale Anmeldung nach Form oder Inhalt folgende Mängel aufweist:
siehe Beiblatt

VIII. Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Zur Klarheit der Patentansprüche, der Beschreibung und der Zeichnungen oder zu der Frage, ob die Ansprüche in vollem Umfang durch die Beschreibung gestützt werden, ist folgendes zu bemerken:
siehe Beiblatt

Die Bemerkungen beziehen sich auf diejenigen der Punkte I-VIII des Deckblatts, deren entsprechende Kästchen markiert worden sind.

1 Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- D1: US-A-5 041 729 (TAKAHASHI TETSUHIKO ET AL) 20. August 1991 (1991-08-20)**
- D2: US-A-5 464 984 (COX JOHN D ET AL) 7. November 1995 (1995-11-07)**
- D3: US-A-5 777 335 (TAKAMI EIICHI ET AL) 7. Juli 1998 (1998-07-07)**

2 Die Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse des Artikels 6 PCT, weil die Ansprüche 1, 3, 7, 13, 15, 17, 22, 23 und 26 nicht klar sind.

2.1 Im Anspruch 1 ist offenbart, dass die Detektoranordnung eine erste und eine zweite Fläche aufweist. Da eine Detektoranordnung nur eine Zusammenstellung von mehreren Detektorelementen ist, ohne dass es dazu zwei Flächen geben muss, dann muss es ein Substrat geben, worauf die Detektoranordnung vorgesehen ist.

2.2 Der im Anspruch 1 offenbarte Gegenstand schließt auch eine Einrichtung des Detektormoduls ein, in der sich der Leiterbahnträger zwischen der ersten und der zweiten Fläche der Detektoranordnung befindet. Diese Einrichtung wurde weder in der Beschreibung noch in den Zeichnungen offenbart. Es ist aber aus der Beschreibung und den Zeichnungen (s. z. B. Zeichnung 5) klar, dass der Leiterbahnträger an der Seite der zweiten Flächen und beabstandet von der zweiten Fläche vorgesehen ist. Da weiterhin die Positionen anderer Elemente des Detektormoduls (z. B. Elektronik, Schild) abhängig von der Position des Leiterbahnträgers definiert sind, werden mehrere abhängige Ansprüche unklar. Diese Widersprüche zwischen der Beschreibung und den Ansprüchen machen diese Ansprüche unklar (Artikel 6 PCT).

2.3 Der Gegenstand des Anspruchs 1 schließt auch aus Germanium bestehende Detektorelemente ein, deren Nachteile bei der Verwendung vermieden werden

sollen (cf. Seite 2, Zeile 16-24). Gemäß der Beschreibung ist jedoch das Detektormodul nur mit Silizium-Detektoren versehen (cf. z. B. Seite 5, Zeile 25-27; Seite 6, Zeile 15-18).

Dieser Widerspruch zwischen der Beschreibung und Anspruch 1 macht diesen Anspruch unklar (Artikel 6 PCT).

- 2.4 Die in den Ansprüchen 1, 3, 7, 13, 15, 17, 22 und 23 benutzten Ausdrücke "mit Hilfe von", "hochempfindlichen Driftdetektorzellen", "hoher Wärmeleitfähigkeit", "hoher Kernladungszahl", "mittlerer Kernladungszahl", "niedriger Kernladungszahl", "mechanisch stabilen Trägermaterial" und "deutlich kleiner", "...etwa gleich der breite ... Leiterbahn entspricht." sind vage und unklar und lassen den Leser über die Bedeutung der betreffenden technischen Merkmale im Ungewissen. Dies hat zur Folge, dass die Definition des Gegenstands dieser Ansprüche nicht klar ist (Artikel 6 PCT).
- 2.5 Im Anspruch 26 bezieht sich die Formulierung "... um eine zu untersuchende Materialprobe herum;" auf ein Verfahren zur Verwendung der Vorrichtung und nicht auf die Definition der Vorrichtung anhand ihrer technischen Merkmale. Die beabsichtigten Einschränkungen gehen daher im Widerspruch zu den Erfordernissen des Artikels 6 PCT nicht klar aus dem Anspruch hervor.
- 3 Aus der Beschreibung (cf. Seite 5, Zeile 21-30; Seite 7, Zeile 18-21; Seite 2, Zeile 26-27) geht hervor, dass die folgenden Merkmale für die Definition der Erfindung wesentlich sind:
- (1) Silizium-Detektorzellen, die auf dem Siliziumsubstrat mit einer integrierten Vorverstärkerelektronik versehen sind (cf. Seite 5, Zeile 21-30), da das Signal zu der Signalverarbeitungselektronik erforderlich geführt werden muss.
 - (2) Der Leiterbahnträger ist direkt über der Detektoranordnung angeordnet (cf. Seite 7, Zeile 18-21), um die ortsnahe Integration bzw. parasitätsarme Ankopplung der Signalverarbeitungselektronik an das Detektorarray zu gewährleisten.
- Da der unabhängige Anspruch 1 diese Merkmale nicht enthält, entspricht er nicht dem Erfordernis des Artikels 6 PCT in Verbindung mit Regel 6.3 b) PCT, dass jeder unabhängige Anspruch alle technischen Merkmale enthalten muss, die für

die Definition der angesprochenen Erfindung wesentlich sind.

- 4 Die vorliegende Anmeldung erfüllt nicht die Erfordernisse des Artikels 33(2) PCT, weil der Gegenstand des Anspruchs 1 nicht neu ist, soweit die Ansprüche auf Grund der obengenannten Unklarheiten verstanden werden können.

Dokument D2 (s. Zeichnungen 7, 13, 15 und betreffender Text; Spalte 8, Zeile 42 bis Spalte 10, Zeile 4) offenbart ein

Detektormodul zur Röntgenstrahlungsmessung (s. Spalte 1, Zeile 20-24), mit: einem Detektorarray (s. Zeichnung 7), das eine erste, einer Strahlungsquelle zugewandte Fläche, die mit einer Vielzahl von Detektorelementen (402, 404) versehen ist, und eine zweite, der Strahlungsquelle abgewandte Fläche aufweist; und

einem Leiterbahnträger (314), der beabstandet von der zweiten Fläche des Detektorarrays angeordnet und mit Leiterbahnen (s. Spalte 8, Zeile 42-65) versehen ist;

wobei erste Anschlüsse der Detektorelemente, die sich an der zweiten Fläche des Detektorarrays befinden, mit Hilfe von Bonddrähte (405) (s. Spalte 8, Zeile 49-53) mit den Leiterbahnen verbunden sind;

wobei die Bonddrähte von den ersten Anschlüssen der Detektorelemente durch Bohrungen (s. Zeichnung 15) (600, 621, 630) in dem Leiterbahnträger auf die dem Detektorarray abgewandte Seite des Leiterbahnträgers geführt sind, um mit den Leiterbahnen verbunden zu werden, die an der dem Detektorarray abgewandten Fläche des Leiterbahnträgers ausgebildet sind;

wobei die Leiterbahnträger für jedes Detektorelement eine Bohrung vorgesehen ist (s. Zeichnungen 15-17); und

wobei die Leiterbahnen zu einer Signalverarbeitungselektronik geführt sind (s. Zeichnung 7) (302), um die von den einzelnen Detektorelementen ausgehenden Signale zu verarbeiten.

Deshalb erfüllt die Anmeldung nicht die Erfordernisse des Artikels 33(2) PCT.

- 5 Die zusätzlichen Merkmale von Ansprüchen 2-7, 9-10, 21-22 sind auch aus D2 (s. Zeichnungen 7, 13, 15 und betreffender Text) schon bekannt. Daher, erfüllen sie nicht die Erfordernisse des Artikels 33(2) PCT.
- 6 Ansprüche 8, 11-20, 23-26 scheinen keine zusätzlichen Merkmale zu enthalten, die in Kombination mit den Merkmalen irgendeines Anspruchs, auf den diese Ansprüche rückbezogen sind, zu einem auf erfinderischer Tätigkeit beruhenden Gegenstand führen könnten, angesichts der Offenbarung des Dokuments D2 (s. Zeichnung 1 und betreffender Text).
- 7 Der Vollständigkeit halber wird auf die folgenden Sachverhalte hingewiesen.
 - 7.1 Der unabhängige Anspruch 1 ist nicht in der zweiteiligen Form nach Regel 6.3 b) PCT abgefasst. Im vorliegenden Fall erscheint die Zweiteilung jedoch zweckmäßig. Folglich sollten die in Verbindung miteinander aus dem Stand der Technik bekannten Merkmale im Oberbegriff zusammengefasst (Regel 6.3 b) i) PCT) und die übrigen Merkmale im kennzeichnenden Teil aufgeführt werden (Regel 6.3 b) ii) PCT).
 - 7.2 Im Widerspruch zu den Erfordernissen der Regel 5.1 a) ii) PCT werden in der Beschreibung weder der in Dokumenten D1-D3 offenbarte einschlägige Stand der Technik noch dieses Dokument angegeben.

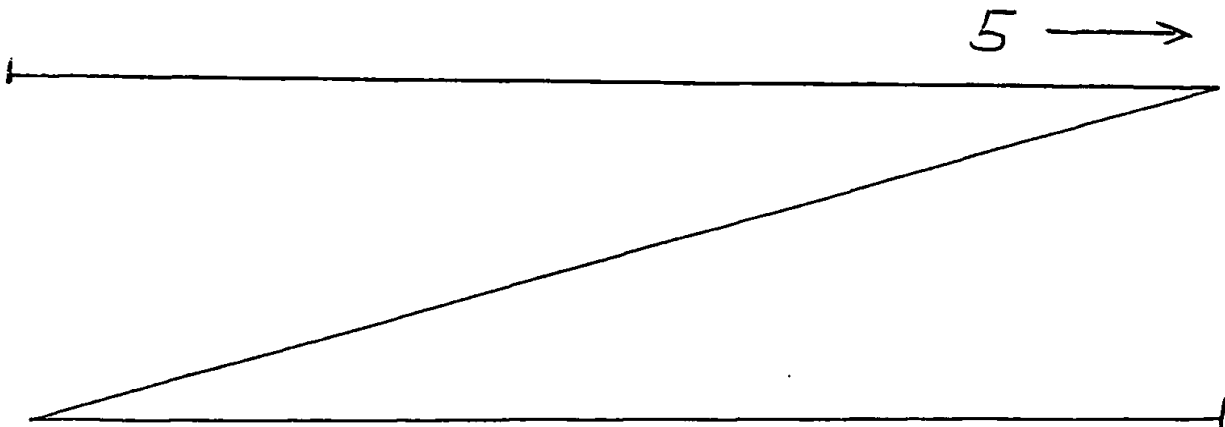
-4a-

- in Form einer Zeile nebeneinander angeordnet sind. An den Photodioden ist mittels eines isolierenden Klebstoffs eine Halterung angebracht, so daß alle 12 Photodioden abgedeckt werden und ein Endabschnitt einer jeden Photodiode zur Verdrahtung freiliegt.
- 5 Die Halterung besteht aus einem keramischen Isolator und ist auf ihrer Rückseite mit Signalleitungen für jedes Element ausgebildet. Die Bond-Anschlußfläche einer jeden Photodiode ist durch eine Drahtbondung mit den Signalleitungen verbunden. Der Nachteil dieser Ausgestaltung besteht darin, daß lediglich eine
- 10 Detektorzeile - nicht aber ein Detektorarray - hergestellt werden kann, da die Art der Verdrahtung ausschließlich eine zeilenförmige Anordnung der Detektorelemente zuläßt. Bei Verwendung einer Detektorzeile ist jedoch eine sehr lange Meßzeit erforderlich. Außerdem muß die Detektorzeile mit Hilfe einer
- 15 mechanisch aufwendigen und teuren Verfaher-Konstruktion schrittweise verlagert werden, um eine Gesamtaufnahme durchzuführen.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Detektorsystem vorzusehen, mit Hilfe dessen die vorstehend genannten Nachteile

20 des Standes der Technik überwunden werden. Es ist insbesondere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Detektormodul mit einer zweidimensionalen Anordnung von Detektorelementen zu einem Detektorarray einschließlich der entsprechenden Verdrahtungstechnik vorzusehen, wobei mit Hilfe eines solchen Detektor-

25 moduls über eine Orts- bzw. Winkelauflösung die simultane Erfassung von Röntgenlicht möglich ist, so daß sich zum Beispiel bei der Röntgen-Holographie die sonst üblichen Verfaher-



Limitierung von einzelligen Detektoren ergibt sich dieselbe Gesamt-Meßzeit.

Es ist möglich, die lange Gesamt-Meßzeit zu verkürzen, indem
5 statt eines einzelligen Detektors mehrzellige Detektoren verwendet werden. Durch gleichzeitige Messung verschiedener Winkelbereiche (Meßverfahren 1) bzw. der bei mehrzelligen Detektoren entsprechend vervielfachten Ereignisrate (Meßverfahren 2) vermindert sich die die Gesamt-Meßzeit um etwa den Faktor der Zahl
10 der Detektorelemente. Aufgrund der limitierten Zahl von Zellen bzw. Elementen erübrigen alle kommerziellen mehrzelligen Germanium-Detektoren weder aufwendige Verfahrkonstruktionen im Meßverfahren 1, noch ermöglichen sie nur eine Meßzeitreduzierung auf weniger als etwa eine Stunde (beide Meßverfahren). Diese
15 Meßzeitreduzierung wird als nicht ausreichend angesehen, da sowohl (Synchrotron)strahlungsquellen als auch die Detektoren beim Langzeitbetrieb Schwankungen unterworfen sind. Auch die Materialprobe selbst kann sich während dieser langen Messung verändern, weshalb idealerweise Echtzeit-Aufnahmen gewünscht
20 sind.

Neben dem hier detaillierter dargestellten Beispiel der Röntgen-Holographie sind Detektoren für Röntgenstrahlung in einer Vielzahl anderer Meßmethoden im Einsatz, zum Beispiel in
25 der Röntgenabsorptionsspektroskopie, der Röntgenbeugung, der Röntgenfluoreszenzanalyse und vielen anderen Feldern mehr. Aus vergleichbaren Gründen, wie den oben erwähnten, limitieren kommerzielle Silizium- und Germanium-Detektoren die Messungen in vielen Anwendungen (zum Beispiel an Synchrotronstrahlungs-
30 quellen) aufgrund der maximal möglichen Ereignisrate der Detektoren oder der erreichbaren Winkel- oder Ortsauflösung.

In der US 5,041,729 ist ein mehrzelliger Strahlungsdetektor offenbart, bei dem eine Anzahl von Detektorelementen in Form
35 einer Zeile angeordnet ist. Der Strahlungsdetektor enthält einen Szintillator, an dessen Rückseite 12 streifenförmige Photodioden

4a →

Patentansprüche

1. Detektormodul zur Röntgenstrahlungsmessung, mit
 - einem Detektorarray, das eine erste, einer Strahlungsquelle zugewandte Fläche, die mit einer Vielzahl von Detektorelementen versehen ist, und eine zweite, der Strahlungsfläche abgewandte Fläche aufweist; und
 - einem Leiterbahnträger, der beabstandet von der zweiten Fläche des Detektorarrays angeordnet und mit Leiterbahnen versehen ist;
 - wobei erste Anschlüsse der Detektorelemente, die sich an der zweiten Fläche des Detektorarrays befinden, mit Hilfe von Bonddrähten mit den Leiterbahnen verbunden sind;
 - wobei die Bonddrähte von den ersten Anschlüssen der Detektorelemente durch Bohrungen in dem Leiterbahnträger auf die dem Detektorarray abgewandte Seite des Leiterbahnträgers geführt sind, um mit den Leiterbahnen verbunden zu werden, die an der dem Detektorarray abgewandten Fläche des Leiterbahnträgers ausgebildet sind;
 - wobei in dem Leiterbahnträger für jedes Detektorelement eine Bohrung vorgesehen ist; und
 - wobei die Leiterbahnen zu einer Signalverarbeitungselektronik geführt sind, um die von den einzelnen Detektorelementen ausgehenden Signale zu verarbeiten.
2. Detektormodul nach Anspruch 1, bei dem die Detektorelemente mit einer Verstärker-Elektronik integriert sind.
3. Detektormodul nach Anspruch 1, bei dem die Detektorelemente hochempfindliche Driftdetektorzellen sind, die monolithisch mit Feldeffekttransistoren integriert sind.
4. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zweite Anschlüsse der Detektorelemente durch einfache

- 20 -

Kettenbondverbindungen an einer auf dem Detektorarray vorgesehene Busstruktur angeschlossen sind.

5. Detektormodul nach Anspruch 4, bei dem die Busstruktur an den Außenkanten des Detektorarrays vorgesehen ist und die Busleitungen der Busstruktur durch Bonddrähte mit auf dem Leiterbahnträger ausgebildeten Leiterbahnen verbunden sind.
6. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Detektorarray zusammen mit dem Leiterbahnträger in einem Gehäuse montiert ist.
7. Detektormodul nach Anspruch 6, bei dem das Gehäuse aus einem Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit und geringem Röntgen-Fluoreszenzvermögen hergestellt ist.
8. Detektormodul nach Anspruch 6 oder 7, bei dem das Gehäuse aus Graphit hergestellt ist.
9. Detektormodul nach einem der Ansprüche 6 bis 8, bei dem die Signalverarbeitungselektronik ebenfalls in dem Gehäuse vorgesehen ist.
10. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Signalverarbeitungselektronik auf einem Schaltungs-träger vorgesehen ist, der an der dem Detektorarray abgewandten Seite des Leiterbahnträgers angeordnet ist.
11. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Signalverarbeitungselektronik durch ein Strahlungsschild gegenüber der Strahlungsquelle abgeschirmt ist.
12. Detektormodul nach Anspruch 11, bei dem das Strahlungsschild zwischen dem Leiterbahnträger und der Signalverarbeitungselektronik vorgesehen ist.

- 21 -

13. Detektormodul nach Anspruch 11 oder 12, bei dem das Strahlungsschild eine erste Schicht aus einem chemisch stabilen Material mit Atomen hoher Kernladungszahl, wie beispielsweise Tantal oder Wolfram, aufweist.
14. Detektormodul nach Anspruch 13, bei dem die erste Schicht des Strahlungsschildes eine Dicke von mehr als 300 μm hat.
15. Detektormodul nach Anspruch 13 oder 14, bei dem an der der Strahlungsquelle zugewandten Seite der ersten Schicht des Strahlungsschildes eine zweite Schicht aus einem Material mit Atomen mittlerer Kernladungszahl vorgesehen ist, wie beispielsweise Titan, Vanadium oder Chrom.
16. Detektormodul nach Anspruch 15, bei dem die zweite Schicht des Strahlungsschildes eine Dicke von mehr als 50 μm hat.
17. Detektormodul nach Anspruch 15 oder 16, bei dem an der der Strahlungsquelle zugewandten Seite der zweiten Schicht des Strahlungsschildes eine dritte Schicht aus einem Material mit Atomen niedriger Kernladungszahl vorgesehen ist, wie beispielsweise Aluminium.
18. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Leiterbahnträger mittels einer flexiblen Anschlußfolie (I) mit dem Schaltungsträger gekoppelt ist.
19. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Schaltungsträger mittels einer flexiblen Anschlußfolie (II) mit der Signalverarbeitungselektronik gekoppelt ist.
20. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das eine sechseckige oder fünfeckige oder viereckige Form hat.

21. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Kontaktierung zwischen dem Detektorarray und dem Leiterbahnträger mittels Flip-Chip-Kontaktierung ausgeführt ist.
22. Detektormodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem zwischen dem mechanisch stabilen Trägermaterial des Leiterbahnträgers und der signalführenden Metallisierungsebene der Leiterbahnen eine Zwischenschicht vorgesehen ist, deren Dielektrizitätskonstante deutlich kleiner ist als die des Trägermaterials.
23. Detektormodul nach Anspruch 22, bei dem die Zwischenschicht eine Dicke hat, die etwa gleich der Breite von einer signalführenden Leiterbahn entspricht.
24. Detektormodul nach Anspruch 22 oder 23, bei dem als Material für die Zwischenschicht Benzocyclobutene oder Polyphenylquinoxaline verwendet werden.
25. Detektormodul nach einem der Ansprüche 22 bis 24, bei dem in der Metallisierungsebene zwischen den signalführenden Leiterbahnen Abschirm-Leiterbahnen vorgesehen sind und wobei an gleicher Stelle auch in einer zweiten Metallisierungsebene zwischen dem stabilen Trägermaterial des Leiterbahnträgers und der dielektrischen Zwischenschicht weitere Abschirm-Leiterbahnen vorgesehen sind.
26. Röntgendetektorsystem, mit
 - einer Anzahl von Detektormodulen gemäß einem der Ansprüche 1 bis 28;
 - einem Rahmen zur Halterung der Anzahl von Detektormodulen auf einer im wesentlichen halbkugelförmigen Fläche um eine zu untersuchende Materialprobe herum;
 - wobei die im wesentlichen halbkugelförmigen Fläche durch eine gekappte Ikosaeder-Struktur gebildet ist.

limitation of single-cell detectors, the same total measurement time results.

It is possible to shorten the long total measurement time by using multi-cell detectors instead of a single-cell detector. Through simultaneous measurement of different angle regions (measurement process 1) or the event rate correspondingly multiplied in the case of multi-cell detectors, (measurement process 2), the total measurement time is reduced by approximately the factor of the number of detector elements. Due to the limited number of cells or elements, all commercial multi-cell germanium detectors neither make costly displacement structures superfluous in measurement process 1 nor make possible a measurement time reduction to less than approximately one hour (both measurement processes). This reduction in measurement time is regarded as insufficient, as both (synchrotron) radiation sources and the detectors are subjected to fluctuations during long-time operation. The material sample itself can also change during this long measurement, for which reason real-time recordings are ideally desired.

In addition to the detailed example of X-ray holography presented here, detectors for X-ray radiation are used in many other measurement methods, for example in X-ray absorption spectroscopy, X-ray diffraction, X-ray fluorescence analysis and many more fields. For reasons comparable with those mentioned above, commercial silicon and germanium detectors limit the measurements in many applications (for example in synchrotron radiation sources) due to the maximum possible event rate of the detectors or the achievable angle or location resolution.

It is therefore the **object** of the invention to provide a detector system with which the simultaneous recording of the X-ray light is possible via a location or angular resolution, so that for example in X-ray holography, the otherwise customary

Patent claims

1. Detector module for radiation measurement, with
 - a detector array, which has a first surface, facing a radiation source, which is provided with a number of detector elements, and a second surface, facing away from the radiation source; and
 - a conductor track carrier which is arranged at a distance from the second surface of the detector array and is provided with conductor tracks;
 - first connections of detector elements which are located on the second surface of the detector array being connected to the conductor tracks with the help of bonding wires; and
 - the conductor tracks being guided to signal-processing electronics to process the signals coming from the individual detector elements.
2. Detector module according to claim 1, in which the detector elements are integrated with amplifier electronics.
3. Detector module according to claim 1, in which the detector elements are highly sensitive drift detector cells which are monolithically integrated with field effect transistors.
4. Detector module according to claim 1, in which the conductor tracks are developed on the surface of the conductor track carrier facing away from the detector array.
5. Detector module according to one of the previous claims in which the bonding wires of the first connections of the detector elements are guided through bores in the conductor track carrier onto the side of the conductor

track carrier facing away from the detector array, to be connected to the conductor tracks.

6. Detector module according to claim 5, in which a bore is provided in the conductor track carrier for each detector element.
7. Detector module according to one of the previous claims, in which second connections of the detector elements are connected by simple chain bonding connections at a bus structure provided on the detector array.
8. Detector module according to claim 7, in which the bus structure is provided at the external edges of the detector array and the bus lines of the bus structure are connected by bonding wires to conductor tracks developed on the conductor track carrier.
9. Detector module according to one of the previous claims, in which the detector array together with the conductor track carrier is mounted in a housing.
10. Detector module according to claim 9, in which the housing is made of a material with high thermal conductivity and low X-ray fluorescence capacity.
11. Detector module according to claim 9 or 10, in which the housing is made of graphite.
12. Detector module according to one of claims 9 to 11, in which the signal-processing electronics are also provided in the housing.
13. Detector module according to one of the previous claims, in which the signal-processing electronics are provided on a circuit support which is arranged on the side of the conductor track carrier facing away from the detector

array.

14. Detector module according to one of the previous claims, in which the signal-processing electronics are screened from the radiation source by a radiation shield.
15. Detector module according to claim 14, in which the radiation shield is provided between the conductor track carrier and the signal-processing electronics.
16. Detector module according to claim 14 or 15, in which the radiation shield has a first layer of a chemically stable material with atoms of high atomic number, such as for example tantalum or tungsten.
17. Detector module according to claim 16, in which the first layer of the radiation shield has a thickness of more than 300 μm .
18. Detector module according to claim 16 or 17, in which, at the side of the first layer of the radiation shield facing the radiation source, a second layer of a material with atoms of medium atomic number, such as for example titanium, vanadium or chromium, is provided.
19. Detector module according to claim 18, in which the second layer of the radiation shield has a thickness of more than 50 μm .
20. Detector module according to claim 18 or 19, in which, at the side of the second layer of the radiation shield facing the radiation source, a third layer of a material with atoms of low atomic number, such as for example aluminium, is provided.
21. Detector module according to one of the previous claims, in which the conductor track carrier is coupled with the

circuit support by means of a flexible connection film (I).

22. Detector module according to one of the previous claims, in which the conductor track carrier is coupled with the signal-processing electronics by means of a flexible connection film (II).
23. Detector module according to one of the previous claims, which has a hexagonal or pentagonal or quadrangular shape.
24. Detector module according to one of the previous claims, in which contact between the detector array and the conductor track carrier is achieved by means of flip-chip contact.
25. Detector module according to one of the previous claims, in which an intermediate layer the dielectric constant of which is clearly less than that of the carrier material is provided between the mechanically stable carrier material of the conductor track carrier and the signal-carrying metallization plane of the conductor tracks.
26. Detector module according to claim 25, in which the intermediate layer has a thickness which corresponds to approximately the width of a signal-carrying conductor track.
27. Detector module according to claim 25 or 26 in which benzocyclobutenes or polyphenylquinoxalines are used as material for the intermediate layer.
28. Detector module according to one of claims 25 to 27 in which screening conductor tracks are provided in the metallization plan between the signal-carrying conductor tracks, and in which further screening conductor tracks

are also provided at the same point in a second metallization plane between the stable carrier material of the conductor track carrier and the dielectric intermediate layer.

29. X-ray detector system, with

- a number of detector modules according to one of claims 1 to 28;
- a frame for holding the number of detector modules on an essentially hemispherical surface around a material sample to be examined;
- the essentially hemispherical surface being formed by a capped icosahedron structure.

PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION OF ELECTION

(PCT Rule 61.2)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

Commissioner
 US Department of Commerce
 United States Patent and Trademark
 Office, PCT
 2011 South Clark Place Room
 CP2/5C24
 Arlington, VA 22202
 ETATS-UNIS D'AMERIQUE
 in its capacity as elected Office

Date of mailing (day/month/year) 08 February 2001 (08.02.01)	
International application No. PCT/EP00/05758	Applicant's or agent's file reference P 54199
International filing date (day/month/year) 21 June 2000 (21.06.00)	Priority date (day/month/year) 21 June 1999 (21.06.99)
Applicant HANSEN, Karsten et al	

1. The designated Office is hereby notified of its election made:



in the demand filed with the International Preliminary Examining Authority on:

22 December 2000 (22.12.00)



in a notice effecting later election filed with the International Bureau on:

2. The election ☒ was

was not

made before the expiration of 19 months from the priority date or, where Rule 32 applies, within the time limit under Rule 32.2(b).

The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland Facsimile No.: (41-22) 740.14.35	Authorized officer Juan Cruz Telephone No.: (41-22) 338.83.38
---	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/05758

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5041729 A	20-08-1991	JP 1113690 A	02-05-1989
		JP 1126583 A	18-05-1989
		JP 2696860 B	14-01-1998
		JP 1172791 A	07-07-1989
		JP 1172792 A	07-07-1989
		JP 2611295 B	21-05-1997
		DE 3836835 A	08-06-1989
US 5777335 A	07-07-1998	JP 9152486 A	10-06-1997
US 5464984 A	07-11-1995	US 5381013 A	10-01-1995
		US 5220170 A	15-06-1993
		US 5043582 A	27-08-1991
		US 4905265 A	27-02-1990
		AU 6408594 A	11-10-1994
		WO 9421998 A	29-09-1994
		AU 2541292 A	16-03-1993
		US 5440130 A	08-08-1995
		WO 9304384 A	04-03-1993
		AU 7322091 A	05-08-1991
		EP 0513208 A	19-11-1992
		WO 9110921 A	25-07-1991
		AU 609027 B	26-04-1991
		AU 6640586 A	18-06-1987
		CA 1259711 A	19-09-1989
		EP 0229497 A	22-07-1987
		JP 62222780 A	30-09-1987

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int Application No

PCT/EP 00/05758

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L27/146 H01L31/02 H01L31/0203

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 041 729 A (TAKAHASHI TETSUHIKO ET AL) 20 August 1991 (1991-08-20) figures 1,3,4 column 2, line 39 -column 3	1,4,8
A	US 5 777 335 A (TAKAMI EIICHI ET AL) 7 July 1998 (1998-07-07) figure 1 column 3, line 15 -column 4, line 40	1-28
A	US 5 464 984 A (COX JOHN D ET AL) 7 November 1995 (1995-11-07) figures 7,13,16-19 column 8, line 42 -column 10, line 3	1-28



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 October 2000

Date of mailing of the international search report

09/10/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visscher, E

VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT
AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS

PCT

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

(Artikel 18 sowie Regeln 43 und 44 PCT)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts P 54199	WEITERES VORGEHEN siehe Mitteilung über die Übermittlung des internationalen Recherchenberichts (Formblatt PCT/ISA/220) sowie, soweit zutreffend, nachstehender Punkt 5	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP 00/05758	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 21/06/2000	(Frühestes) Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 21/06/1999
Anmelder DEUTSCHES ELEKTRONEN-SYNCHROTRON DESY		

Dieser internationale Recherchenbericht wurde von der Internationalen Recherchenbehörde erstellt und wird dem Anmelder gemäß Artikel 18 übermittelt. Eine Kopie wird dem Internationalen Büro übermittelt.

Dieser internationale Recherchenbericht umfaßt insgesamt 2 Blätter.



Darüber hinaus liegt ihm jeweils eine Kopie der in diesem Bericht genannten Unterlagen zum Stand der Technik bei.

1. Grundlage des Berichts

- a. Hinsichtlich der **Sprache** ist die internationale Recherche auf der Grundlage der internationalen Anmeldung in der Sprache durchgeführt worden, in der sie eingereicht wurde, sofern unter diesem Punkt nichts anderes angegeben ist.



Die internationale Recherche ist auf der Grundlage einer bei der Behörde eingereichten Übersetzung der internationalen Anmeldung (Regel 23.1 b)) durchgeführt worden.

- b. Hinsichtlich der in der internationalen Anmeldung offenbarten **Nucleotid- und/oder Aminosäuresequenz** ist die internationale Recherche auf der Grundlage des Sequenzprotokolls durchgeführt worden, das



in der internationalen Anmeldung in Schriftlicher Form enthalten ist.



zusammen mit der internationalen Anmeldung in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.



bei der Behörde nachträglich in schriftlicher Form eingereicht worden ist.



bei der Behörde nachträglich in computerlesbarer Form eingereicht worden ist.



Die Erklärung, daß das nachträglich eingereichte schriftliche Sequenzprotokoll nicht über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung im Anmeldezeitpunkt hinausgeht, wurde vorgelegt.



Die Erklärung, daß die in computerlesbarer Form erfaßten Informationen dem schriftlichen Sequenzprotokoll entsprechen, wurde vorgelegt.

2. ☐ Bestimmte Ansprüche haben sich als nicht recherchierbar erwiesen (siehe Feld I).

3. ☐ Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung (siehe Feld II).

4. Hinsichtlich der Bezeichnung der Erfindung



wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.



wurde der Wortlaut von der Behörde wie folgt festgesetzt:

5. Hinsichtlich der Zusammenfassung



wird der vom Anmelder eingereichte Wortlaut genehmigt.



wurde der Wortlaut nach Regel 38.2b) in der in Feld III angegebenen Fassung von der Behörde festgesetzt. Der Anmelder kann der Behörde innerhalb eines Monats nach dem Datum der Absendung dieses internationalen Recherchenberichts eine Stellungnahme vorlegen.

6. Folgende Abbildung der Zeichnungen ist mit der Zusammenfassung zu veröffentlichen: Abb. Nr. 5



wie vom Anmelder vorgeschlagen



keine der Abb.



weil der Anmelder selbst keine Abbildung vorgeschlagen hat.



weil diese Abbildung die Erfindung besser kennzeichnet.

